



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

DURABILITAT DE LES FIBRES VEGETALS EN MATRIUS DE CIMENT D'ALUMINAT DE CALÇ

Treball final de grau

Enginyeria de Sistemes Biològics

Autor: Xavier Lozano Creus

Tutor: Josep Claramunt Blanes

26 / setembre / 2017

Resum

L'ús de fibrociment com a material de construcció és un dels recursos més emprats des de l'antiguitat gràcies a les propietats físiques, mecàniques i químiques que ens ofereix. Actualment l'origen de la majoria de fibres que el formen són d'origen sintètic i el seu sistema de producció genera una elevada petjada de carboni. En canvi, el fibrociment compost per fibres cel·lulòsiques també ens pot aportar unes bones propietats i la seva producció és molt més sostenible. La problemàtica més important que sorgeix de la unió d'un ciment de tipus Portland amb fibres vegetals consisteix en la degradació d'aquestes produïda per l'hidròxid de calci alliberat durant la reacció d'hidratació del ciment. Aquest fet sumat a la pèrdua d'adherència de les fibres amb la matriu, degut als canvis d'humitat que es produeixen en l'ambient, provoca que els usos del fibrociment d'origen vegetal siguin limitats a exclusivament espais interiors.

L'objectiu d'aquest estudi es comprovar la durabilitat de les fibres vegetals en matrius de ciment d'aluminat de calç. En el nostre cas hem utilitzat fibres de lli.

Per arribar a l'objectiu hem analitzat les propietats mecàniques, a flexió i compressió, de diverses dosificacions de matrius formades per ciment aluminós (CAC) i metacaolín (MK). D'altra banda hem observat l'estat de les fibres de lli després d'haver estat submergides en les diferents dosificacions de matrius, en aquest cas en estat líquid, i sotmeses a varis cicles d'assecat-humitejat. Per acabar de comprovar la durabilitat d'aquestes fibres s'han assajat a tracció per esbrinar si les propietats mecàniques havien canviat durant el transcurs del tractament.

S'ha conclòs que les fibres de lli es veuen afectades per la presència de matrius d'aluminat de calç i MK. De totes maneres, si comparem aquesta afectació amb la produïda per el Portland veiem que aquesta és més reduïda i per tant s'obre una finestra a l'estudi de la viabilitat d'aquest material i els seus usos en exteriors. Durant els nostres assajos les fibres de lli han suportat 10 cicles intensius d'assecat-humitejat estant en contacte, de forma continua, amb les matrius. Per tant, tot i produir-se afectacions, podem dir que aquest fibrociment pot tenir un futur com a un nou material de construcció més respectuós amb el medi ambient.

Resumen

El uso de fibrocemento como material de construcción es uno de los recursos más utilizados desde la antigüedad gracias a las propiedades físicas, mecánicas y químicas que nos ofrece. En cambio, el fibrocemento compuesto por fibras celulósicas también nos puede aportar unas buenas propiedades y su sistema de producción es más sostenible. La problemática más importante que surge de la unión de un cemento de tipo Portland con fibras vegetales consiste en la degradación de estas producida por el hidróxido de calcio liberado durante la reacción de hidratación del cemento. Este hecho sumado a la pérdida de adherencia de las fibras con la matriz, debido a los cambios de humedad que se producen en el ambiente, provoca que los usos del fibrocemento de origen vegetal sean limitados exclusivamente a espacios interiores.

El objetivo de este estudio es comprobar la durabilidad de las fibras vegetales en matrices de cemento de aluminato de calcio. En nuestro caso hemos utilizado fibras de lino.

Para llegar al objetivo hemos analizado las propiedades mecánicas, a flexión y compresión, de diversas dosificaciones de matrices formadas por cemento aluminoso (CAC) y metacaolín (MK). Por otra parte, hemos observado el estado de las fibras de lino después de haber estado sumergidas en las diferentes dosificaciones de matrices, en este caso en estado líquido, y sometidas a varios ciclos seco-húmedo. Para terminar de comprobar la durabilidad de estas fibras se han ensayado a tracción para ver si las propiedades mecánicas habían cambiado durante el transcurso del tratamiento.

Se ha concluido que las fibras de lino se ven afectadas por la presencia de matrices de aluminato de calcio i MK. De todas formas, si comparamos esta afectación con la producida por el Portland vemos que esta es más reducida y por lo tanto se abre una ventana al estudio de la viabilidad de este material y sus usos en exteriores. Durante nuestros ensayos las fibras de lino han soportado 10 ciclos de seco-húmedo estando en contacto, de forma continua, con las matrices. Por tanto, todo y producirse afectaciones, podemos decir que este fibrocemento puede tener un futuro como nuevo material de construcción más respetuoso con el medio ambiente.



Abstract

The use of cementitious composites as a building material is one of the most used resources since ancient times thanks to the physical, mechanical and chemical properties that it offers. In contrast, cementitious composites reinforced with cellulosic fibers also possess good properties and its production system is more sustainable. The most important problem that arises from the union of Portland cement with vegetable fibers is the degradation of these produced by the calcium hydroxide released during the hydration reaction of the cement. This fact, added to the loss of fiber adhesion to the matrix, due to changes of humidity in the environment, limits the uses of the fiber cement of plant origin exclusively to interior spaces.

The aim of this study is to test the durability of vegetable fibers in calcium aluminate cement matrix. In this study, flax fibers have been used.

In order to reach the objective, we have analyzed the mechanical properties, in flexion and compression, of various dosages of matrices formed by aluminous cement (CAC) and metakaolin (MK). On the other hand, we have observed the state of the flax fibers after having been immersed in the different dosages of the matrix, in this case liquid, and subjected to several dry-wet cycles. To check the durability of these fibers, tensile tests have been carried out to see if the mechanical properties have changed during the course of the treatment.

It has been concluded that flax fibers are affected by the presence of calcium aluminate and MK matrices. However, if we compare this effect with that produced by the Portland we see that it is smaller and therefore opens a window to the study of the viability of this material and its uses in the exterior. During our tests, the linen fibers have undergone 10 dry-wet cycles being in continuous contact with the matrix. Therefore, we can say that this fiber cement can have a future as new construction material more respectful of the environment.

Sumari

RESUM	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
SUMARI	4
ÍNDEX DE FIGURES	6
ÍNDEX DE TAULES	8
SÍMBOLS I ACRÒNIMS	9
AGRAÏMENTS	10
1. INTRODUCCIÓ	11
1.2. El ciment	12
1.2.1. Components i tipologies de ciment	13
1.2.2. Putzolanes: El Metacaolín (MK)	15
1.3. El ciment aluminós (CAC)	16
1.3.1. Marc normatiu	17
1.3.2. Especificacions mecàniques i físiques del CAC	18
1.3.3. Especificacions químiques del CAC	19
1.3.4. Reacció d'hidratació del CAC	19
1.3.5. Aplicacions del CAC	20
1.4. Les fibres	21
1.4.1. Fibres d'origen vegetal	22
1.4.2. Les fibres de lli	23
1.4.3. No teixit	23
1.5. El fibrociment	24
1.5.1. Interacció entre el ciment i les fibres vegetals	25
2. OBJECTIUS DE L'ESTUDI	27
3. MATERIAL I MÈTODES	28
3.1. Assajos mecànics de les diferents dosificacions de les matrius	28
3.1.1. Materials	31
3.1.2. Fabricació de les provetes	33
3.1.3. Assaig mecànic de les provetes	35
3.2. Assaig de durabilitat de les fibres de lli	37



3.2.1.	Materials.....	38
3.2.2.	Preparació de la matriu líquida.....	38
3.2.3.	Cicles d'assecat-humitejat	39
3.2.4.	Assaig a tracció de les fibres de lli.....	40
3.2.5.	Anàlisis de les fibres mitjançant microscòpia electrònica.....	41
4.	ANÀLISIS DELS RESULTATS	43
4.2.	Resultats dels assajos mecànics de les diferents dosificacions.....	43
4.2.1.	Resultats de l'assaig de flexió	43
4.2.2.	Resultats de l'assaig de compressió.....	46
4.2.3.	Resultats finals de l'assaig mecànic	50
4.3.	Resultats de l'assaig de durabilitat de les fibres de lli	52
4.3.1.	Resultats de l'assaig de tracció	53
4.3.2.	Resultats de l'anàlisi amb el microscopi electrònic.....	55
	CONCLUSIONS	60
	BIBLIOGRAFIA.....	61
	Referències bibliogràfiques	61
	ANNEXOS	63
	ANNEX A. FITXES TÈCNIQUES DELS MATERIALS USATS	64

Índex de figures

Figura 1-1 Marc Normatiu del ciment d'aluminat de calç (AENOR, 2006).	18
Figura 1-2 Classificació general de les fibres (Cobrerros and Avellaneda, 2015).	21
Figura 1-3 No teixit de lli (Font pròpia).	24
Figura 3-1 Motlles per a la fabricació de provetes segons la norma UNE-EN 196-1 (AENOR, 2005).	34
Figura 3-2 D'esquerra a dreta 1) Compactadora 2) Motlle i espàtula 3) Provetes desemmotllades 4) Cambra de maduració (Font Pròpia).	35
Figura 3-3 Dispositiu de càrrega per a la determinació de la resistència a flexió (AENOR, 2005).	36
Figura 3-4 Dispositiu de flexió de tres punts i proveta 1 100/0 (Font pròpia).	36
Figura 3-5 Dispositiu de càrrega per assaig de compressió (AENOR, 2005).	37
Figura 3-6 Esquema experimental dels cicles d'assecat-humitejat (Font pròpia).	39
Figura 3-7 Texturòmetre i tireta de no teixit col·locada per el seu assaig a tracció (Font Pròpia).	41
Figura 3-8 Microscopi electrònic i mostra 70/30 sotmesa a 10 cicles d'assecat-humitejat (Font Pròpia) .	42
Figura 4-1 Valors de tensió a flexió per a cada dosificació amb 7 dies de maduració.	44
Figura 4-2 Valors de tensió a flexió per a cada dosificació amb 28 dies de maduració.	44
Figura 4-3 Valors de tensió a flexió per a cada dosificació amb 56 dies de maduració.	45
Figura 4-4 Punt de ruptura (MOR) mitjà per a cada dosificació i temps de maduració a flexió.	46
Figura 4-5 Valors de tensió a compressió per a cada dosificació amb 7 dies de maduració.	47

Figura 4-6	Valors de tensió a compressió per a cada dosificació amb 28 dies de maduració.	47
Figura 4-7	Valors de tensió a compressió per a cada dosificació amb 56 dies de maduració.	48
Figura 4-8	Punt de ruptura (MOR) mitjà per a cada dosificació i temps de maduració a compressió.	49
Figura 4-9	Relació entre la resistència i el cost de producció de cada tona de proveta assajada a flexió i compressió.	52
Figura 4-10	Assaig de tracció de les fibres sotmeses a 5 cicles per a totes les dosificacions.	53
Figura 4-11	Assaig de tracció de les fibres sotmeses a 10 cicles per a totes les dosificacions.	54
Figura 4-12	Punt de ruptura (MOR) mitjà per a cada dosificació i cicle d'assecat-humitejat de l'assaig a tracció.	55
Figura 4-13	Imatges procedents del microscopi electrònic de les mostres sotmeses a 5 cicles.	56
Figura 4-14	Imatges procedents del microscopi electrònic de les mostres sotmeses a 10 cicles.	57
Figura 4-15	Imatges del microscopi electrònic de les fibres sotmeses únicament a cicles d'assecat-humitejat.	58
Figura 4-16	Imatges del microscopi electrònic del grup control.	58

Índex de taules

Taula 1-1 Tipus i composicions dels ciments amb clínquer Pòrtland (RC-03, 2003).	15
Taula 1-2 Tipus de ciment aluminós (Puig and Molins, 2000).	17
Taula 1-3 Especificacions mecàniques i físiques del ciment aluminós (AENOR, 2006).	18
Taula 1-4 Especificacions químiques del ciment aluminós (AENOR, 2006).	19
Taula 1-5 Tipologies i característiques d'algunes fibres d'origen vegetal amb interès industrial.	22
Taula 3-1 Disseny experimental i nomenclatura dels assajos mecànics.	28
Taula 3-2 Característiques principals del ciment aluminós (EN 14647 CAC).	32
Taula 3-3 Característiques principals del Metacaolín Peser.	33
Taula 4-1 Anàlisi resistència-cost de les dosificacions a flexió.	51
Taula 4-2 Anàlisi resistència-cost de les dosificacions a compressió.	51

Símbols i acrònims

Al₂O₃	Alúmina
CAC	Ciment d'aluminat de calç
cm	Centímetres
CaO	Óxid de calci
Fe₂O₃	Òxid Fèrric
g	Grams
m	Metres
Min	Minut
Mm	Mil·límetre
MOR	Punt de ruptura (<i>Modulus of rupture</i>)
MPa	Megapascal
MK	Metacaolín
N	Newton
Kg	Kilogram
KN	KiloNewton
2SiO₂Al₂O₃	Metacaolín
α	Coefficient de relació resistència-pes

Agraïments

Primerament m'agradaria donar les gràcies a Josep Claramunt, tutor acadèmic del treball, per l'ajuda i el suport constant que m'ha proporcionat. Són moltes les hores que hem passat conversant al seu despatx, per telèfon, xatejant i també per videoconferència.

Per acabar també m'agradaria agrair a tots els amics i familiars que sempre m'han donat ànims per totes les tardes que hem passat junts, les pauses per el cafè i els caps de setmana a la muntanya. Totes aquestes coses són les que han fet possible portar aquest treball de forma senzilla i agradable.



1. Introducció

Els materials de construcció han anat evolucionant amb el pas de temps adaptant-los constantment a les necessitats de l'ésser humà. Una part d'aquesta evolució s'inicia amb l'aparició del primer material compost o *composite* per fibres vegetals del que tenim constància. La tova és una barreja de fang i fibres vegetals, generalment palla, que serveix com a material de construcció. Aquest s'ha utilitzat per fer maons i parets en regions àrides, donat que la durabilitat de la tova és molt susceptible a la humitat de l'ambient. Es coneix que el seu primer ús com a material estructural data del 3150 aC a l'antic Egipte, i el material vegetal utilitzat per a l'elaboració d'aquest *composite* provenia de les plantes de lli cultivades a la llera del riu Nil. L'addició de fibres vegetals al fang ajudava a evitar esquerdes, especialment durant el procés de curat, portant d'aquesta manera al material a tenir unes propietats superiors a la suma de les propietats dels seus components. Per tant estem parlant d'un material sinèrgic (Gomez-Romero, 2001).

Tradicionalment l'ús del fibrociment ha representat un avenç important en els materials de construcció gràcies a les seves apreciades propietats. Actualment la major part del fibrociment que es produeix arreu del món està compost per fibres d'origen sintètic, en canvi només una petita part de la producció es dedica a la fabricació de fibrociment amb fibres vegetals, ja que aquest només es pot utilitzar en interiors degut a que el material no suporta els canvis d'humitat que es produeixen en medis exteriors.

En aquest treball final de grau es pretén estudiar la durabilitat d'un material compost per fibres vegetals i ciment aluminós, degut a la necessitat d'obtenir un fibrociment que sigui més respectuós amb el medi ambient i a la vegada amb unes bones característiques mecàniques que afavoreixin la seva utilització en exteriors.

Un altre de les problemàtiques que comporta la producció de fibrociment sintètic és l'elevada petjada de carboni que aquest produeix durant el seu procés de fabricació, i és per aquest motiu que estem buscant una alternativa més ecològica que pugui arribar a substituir, en tots els aspectes, al fibrociment convencional.

Els estudis realitzats en matrius de ciment Pòrtland i fibres vegetals ens indiquen que aquest material no és del tot durable ja que es produeix una degradació de la fibra per part de l'hidròxid de calç que genera aquest ciment durant la seva reacció d'hidratació (Ardanuy, Claramunt and Toledo Filho, 2015). Per tal de tractar aquesta problemàtica utilitzarem un ciment de tipus aluminós (CAC) amb diverses proporcions de material putzolànic complementari, per tal de reduir el cost de producció de les provetes degut a l'elevat preu de compra del CAC. Aquest material complementari és el metacaolín (MK). Assajarem per separat diverses dosificacions de la matriu en diverses proporcions de CAC i MK per tal de determinar quina ens confereix les millors propietats mecàniques i de forma complementaria podrem esbrinar quina ens aporta un cost de producció més reduït.

Paral·lelament també estudiarem la durabilitat de les fibres vegetals en el ciment aluminós, sotmetent-les a 10 cicles de 7 dies d'assecat-humitejat, d'aquesta manera podrem comprovar si es produeix o no degradació en el material vegetal.

Per tant en aquest treball es pretén veure si un ciment de tipus aluminós donaria solució al problema de la degradació de les fibres vegetals i si aquest material compost ens aporta les suficients avantatges per arribar a substituir el de fibres sintètiques.

1.2. El ciment

"El ciment és un conglomerant hidràulic, és a dir, és un material inorgànic o mineral que, després de ser polvoritzat finament i amassat a continuació amb aigua, forma una pasta que, per reaccions i processos d'hidratació, farga i endureix mantenint, inclús sota l'aigua, la seva resistència i estabilitat"(RC-03, 2003).

Dosificat i mesclat adequadament amb aigua i àrids és capaç de produir el que anomenem un morter. Aquest conserva durant un llarg període de temps els nivells fixats de resistència i manté el seu volum d'una manera extraordinària. Per tal de que aquest morter endureixi, obtenint l'estructura desitjada, cal que els silicats de calci presents s'hidratin mitjançant una simple reacció d'hidratació.

Per tal de posar-nos una mica en context sobre els ciments actuals cal esmentar a diferents personatges històrics que varen ser els precursors dels morters que coneixem actualment. El



primer de tots és James Frost qui va patentar un ciment artificial obtingut mitjançant la calcinació de pedra calcària i argila creant així un dels primers ciments hidràulics. Més endavant Vicat seguiria fent experiments amb aquest ciment per tal de millorar les seves característiques i propietats constructives. No és fins al 1824 quan Joseph Apsdin patenta un ciment tant dur com “la pedra Pòrtland”, donant nom al primer ciment hidràulic més conegut a tot el món, el “Pòrtland”. Apsdin el preparava esmicolant i calcinant la pedra calcària i mesclant la cal resultant amb argiles i terra mentre hidratava la barreja amb molta cura. Seguidament repetia el procediment anterior realitzant una segona calcinació i obtenint el ciment desitjat. Degut a que la calcinació no es duia a terme a temperatures gaire elevades el ciment resultant no era de gaire qualitat. Al 1838, el fill de Joseph Apsdin, William, va fabricar el ciment Gateshead obtenint una qualitat i una resistència molt superior al del seu pare gràcies a la utilització de temperatures molt més elevades. Finalment els ciments produïts a partir del 1850 ja es varen fabricar mitjançant mètodes moderns, esmicolant la cal i la argila en un molí humit i calcinant la mescla a temperatures d’entre 1300 i 1500 °C. La calcària es converteix així en cal viva que s’uneix químicament amb l’argila formant el que s’anomena clínquer de Pòrtland (Prehistóricos, 1991).

A banda del conegut clínquer de Pòrtland també existeix l’anomenat clínquer d’aluminat de calci que dona lloc als ciments d’aluminat de calci (CAC). Més endavant parlarem d’aquest ciment ja que es converteix en la base del meu treball.

Des de el final del segle XIX els principis generals de la fabricació de ciments no han canviat. Actualment es mesclen els clínquers amb altres materials per tal d’obtenir diverses tipologies de ciments amb diferents propietats.

1.2.1. Components i tipologies de ciment

Les diverses tipologies de ciments estan subjectes a la regulació Espanyola “Instrucción para la recepción de Cementos (RC-08)”. Aquesta va ser aprovada per el Real Decret 956/2008 del 6 de juny.

Els ciments més comuns, com el Pòrtland o l’Aluminós (CAC), estan contemplats a l’Annex 1 d’aquesta regulació. Segons aquesta la composició final d’un ciment correspon a la suma dels anomenats components principals i components minoritaris més el sulfat de calci i qualsevol altre additiu si escau, ja que el CAC no porta cap material addicional i el Pòrtland si (RC-03, 2003).

La RC-08 estableix que els ciments estan formats per dos components:

- Component principal: Material inorgànic, especialment seleccionat, utilitzat en proporció superior al 5% en massa respecte la suma total de components.
- Component minoritari: Qualsevol component utilitzat en una proporció igual o inferior al 5% en massa respecte la suma total de components.

Alguns tipus de components principals són:

- Clínquer de ciment Pòrtland
- Clínquer de ciment d'aluminat de calci
- Escòria granulada de forns alts
- Putzolanes
- Cendres volants
- Esquist calcinat
- Calcària
- Fum de sílice

Alguns tipus de components minoritaris són:

- Sulfat de calci
- Additius

Un cop definits aquests components ja podem veure quin són els tipus de ciments que els incorporen.

A la Taula 1-1 es poden observar les diferents tipologies i composicions dels ciments basats en clínquers Pòrtland.



Taula 1-1 Tipus i composicions dels ciments amb clínquer Pòrtland (RC-03, 2003).

Tipo de Cemento	Denominación	Designación	Composición (Proporción en masa)							
			Componentes Principales							
			Clinker	Escoria de Alto Horno	Humo de Sílice	Puzolanas Naturales	Cenizas Volantes Silíceas	Caliza		Componentes Minoritarios
			(K)	(S)	(D)	(P)	(V)	(L)	(LL)	
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland con Escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con Puzolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con ceniza volante	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	Cemento Portland con Caliza	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cemento Portland Compuesto	CEM II/A-M	80-94	6-20						0-5
		CEM II/B-M	65-79	21-35						0-5
CEM III	Cemento con escorias de alto horno	CEM III/A	35-64	36-64	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cemento puzolánico	CEM IV/A	65-89	-	11-35			-	-	0-5
		CEM IV/B	45-64	-	36-55			-	-	0-5
CEM V	Cemento compuesto	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30		-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	-	31-50		-	-	0-5
CEM IV	Cemento puzolánico	CEM IV/A	65-89	-	11-35			-	-	0-5
		CEM IV/B	45-64	-	36-55			-	-	0-5
CEM V	Cemento compuesto	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30		-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	-	31-50		-	-	0-5

1.2.2. Putzolanes: El Metacaolín (MK)

Tal i com s'ha explicat anteriorment el material putzolànic és un tipus de component principal que pot portar un ciment. Dintre d'aquest trobem l'anomenat Metacaolín (MK).

La caolinita és un silicat aluminic laminar de color blanc mate, amb un ús principal en la producció de paper. El tractament tèrmic de la caolinita dona lloc a modificacions estructurals que ens porten a l'obtenció de l'esmentat Metacaolín ($2\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3$). Aquest producte, obtingut sota un procés tèrmic controlat, és un aluminosilicat de caràcter amorf i alta reactivitat, que mesclat amb hidròxid de calci o ciment actua com a un material putzolànic i confereix als morters i formigons unes excel·lents propietats. En el cas del CAC, que no produeix hidròxid de calci, no està gaire estudiat. Les característiques més importants que el MK aporta són per exemple l'augment de les

resistències mecàniques (flexió i compressió), la reducció de la permeabilitat, l'increment de resistències en vers un atac químic, el control del procés d'esquerdat, la possibilitat de prevenir una reacció alcalí-àrid i finalment gràcies al seu color millora l'aspecte del producte final (Mejía de Gutierrez *et al.*, 2006).

En la nostre experimentació hem utilitzat el MK en diverses proporcions per tal d'estudiar com afecta aquest a les propietats mecàniques del CAC i també per tal de reduir el cost total de producció del material. El preu del MK és d'aproximadament 125 €/t i el del CAC 375 €/t.

1.3. El ciment aluminós (CAC)

El CAC, juntament amb les fibres vegetals, serà un dels components principals d'aquesta investigació i per tant ens centrarem en ell i deixarem de banda els altres tipus de ciments.

El ciment aluminós va ser descobert per J.Bierd al 1908, com a conseqüència de les investigacions iniciades anys abans amb la intenció d'obtenir un conglomerant que resistís l'atac destructiu que exercien els sulfats continguts a l'aigua de mar sobre les estructures de ciment Pòrtland. Dit això veiem que és un tipus de ciment creat per millorar paràmetres de durabilitat. Per molt que a l'inici es produís com a un ciment resistent als sulfats ràpidament es va veure que tenia altres grans propietats com per exemple (Sanchez and Cementos Molins, 1973):

- Ràpid enduriment
- Resistència al calor (propietats refractaries)
- Resistència química
- Resistència al desgast
- Alta resistència a compressió

Segons la regulació RC-08 es considera ciment d'aluminat de calci aquell que queda definit segons la norma UNE-EN 14647, l'última actualització d'aquesta data del 2006. Aquesta norma ens defineix totes les característiques, utilitzacions, especificacions i propietats del CAC.

Es coneixen com a ciments d'aluminat de calci a una sèrie de productes comercials fabricats industrialment a partir de mescles de calcària i materials d'elevat contingut en Al_2O_3 o alúmines. La qualitat d'aquest material depèn del percentatge d'impureses (òxids de ferro, silici, magnesi)



presentes en les matèries primeres. En la producció del clínquer de CAC s'utilitzen diferents processos com la fusió en atmosferes reductores, fusió simple o la fusió en dos etapes.

Les diferents tipologies de ciment aluminós es classifiquen en funció dels components presents al CAC. En la Taula 1-2 es poden observar els diversos tipus.

Taula 1-2 Tipus de ciment aluminós (Puig and Molins, 2000).

Tipus	Color	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃ +FeO	TiO ₂	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Normal	Marró a negre	36-42	36-42	3-8	12-20	<2	≈1	≈0,1	≈0,15
Normal baix en ferro	Marró clar – Gris/Blanc	48-60	36-42	3-8	1-3	<2	≈0,1	≈0,1	≈0,05
Mig en alúmina	Blanc	65-75	25-35	<0,5	<0,5	<0,05	<0,3	<0,3	≈0,05
Alt en alúmina	Blanc	≥80	<20	<0,2	<0,2	<0,05	<0,2	<0,2	≈0,05

1.3.1. Marc normatiu

La Norma UNE-EN 14647:2006 ens especifica totes les característiques del ciment aluminós tal i com s'ha dit anteriorment. Per tal d'assajar-lo o treballar amb ell caldrà seguir la normativa UNE-EN 196 (Métodos de ensayo de Cementos) la qual es subdivideix en tres normes addicionals segons el tipus d'assaig que vulguem dur a terme. A la figura 1-1 es mostra el marc normatiu aplicat en aquest treball (AENOR, 2006).

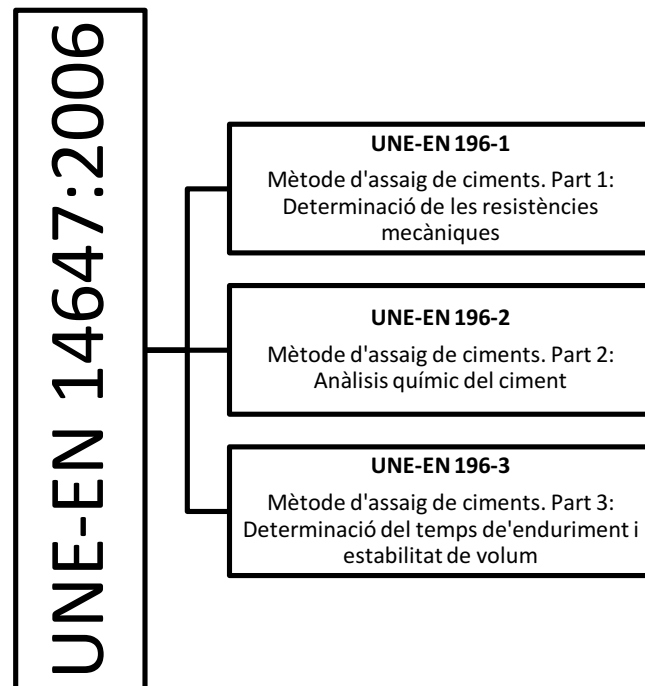


Figura 1-1 Marc Normatiu del ciment d'aluminat de calç (AENOR, 2006).

1.3.2. Especificacions mecàniques i físiques del CAC

Si parlem de resistències mecàniques, com per exemple la resistència a compressió, els barems d'aquesta estan fixats a la Norma UNE-EN 196-1. Els valors mínims queden preestablerts per la Norma per tal de poder comprovar si s'ha realitzat correctament la manipulació del CAC. En la Taula 1-3 es poden observar aquests valors.

Taula 1-3 Especificacions mecàniques i físiques del ciment aluminós (AENOR, 2006).

Resistència a compressió (N/mm ²)		Inici del temps d'hidratació (min)
A les 6 hores ≥ 20	A les 24 hores ≥ 40	≥ 60

1.3.3. Especificacions químiques del CAC

El ciment aluminós haurà de complir amb les especificacions químiques mostrades a la Taula 1-4 , si les provetes han estat assajades mitjançant el mètode descrit a la Norma UNE-EN 196-2.

Taula 1-4 Especificacions químiques del ciment aluminós (AENOR, 2006).

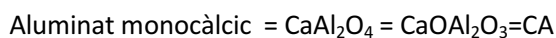
Propietat	Mètode de referència	Especificació (% en massa)
Alúmina (Al_2O_3)	UNE-EN 196-2	$36 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 55$
Sulfur (S^{2-})	UNE-EN 196-2	$\leq 0,10$
Clorur	UNE-EN 196-2	$\leq 0,10$
Alcalinitat*	UNE-EN 196-2	$\leq 0,4$
Sulfat (SO_3)	UNE-EN 196-2	$\leq 0,5$
*Expressada com a Na_2O equivalent ($\text{Na}_2\text{O}+0,658\text{K}_2\text{O}$)		

1.3.4. Reacció d'hidratació del CAC

Per tal de saber el perquè de les característiques excepcionals de ciment aluminós cal entendre que succeeix quan li afegim aigua per tal d'hidratar-lo i arribar al material final.

Els aluminats de calci presents en els ciments refractaris d'elevat contingut en alúmina són els responsables del comportament durant la hidratació d'aquests materials. Aquest és un procés exotèrmic i també molt dependent de les condicions externes tals com: l'agitació, temperatura, humitat relativa de l'ambient i la relació aigua/ciment. Aquesta última és especialment important ja que si s'utilitza una relació incorrecte es poden donar fenòmens com l'aluminosi, problema molt conegut en algunes zones de Barcelona degut a la perillositat que presenta en una edificació. La relació aigua/ciment adequada seria de 0,25-0,35 en funció de l'ús que es vulgui donar a la mescla.

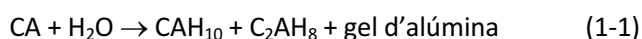
El component principal del CAC és l'alúmina (Al_2O_3) que barrejat amb l'òxid de calci (CaO) ens donaria el següent (Rivas Mercury *et al.*, 2003):



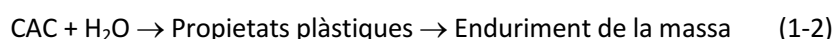
Algunes de les impureses més freqüents presents a les matèries primeres del CAC són:

- Òxid de Ferro (Fe_2O_3)
- Òxid de Titani (TiO_2)
- Òxid de silici (SiO_2)

La reacció finalment quedaria de la següent manera:



o



Els productes d'aquesta reacció són els responsables de la formació dels enllaços hidràulics i de les propietats mecàniques del material. Per aquest motiu es important recalcar la importància de l'ús d'una relació adequada de aigua/ciment.

1.3.5. Aplicacions del CAC

Com s'ha descrit anteriorment el ciment aluminós té unes magnífiques propietats constructives però cal manipular-lo i aplicar-lo adequadament. A continuació descriurem les més importants o destacables.

Degut a les altes temperatures del seu procés de fabricació i també a les matèries primeres emprades el preu de compra del CAC és més elevat que el d'un ciment convencional. Per aquest motiu només s'usa per a fins constructius i en situacions concretes que requereixen de les seves propietats.

La primera aplicació d'aquest ciment, per la qual es va desenvolupar, va ser per a la seva utilització en terrenys sulfatats i en sòls amb presència d'aigua de mar. La seva resistència als atacs químics el feia el candidat ideal per aquests usos, de fet en la normativa espanyola es considera al ciment



aluminós el més resistent en aquesta tipologia de medis. Els seus morters i formigons suporten perfectament medis moderadament àcids, amb valors de pH no inferiors a 4, per aquest motiu és un bon candidat per aplicar-lo en la canalització d'aigües residuals.

Un altre de les característiques més importants del CAC és la seva resistència a altes temperatures, per això també l'anomenen ciment refractari. Aquesta propietat l'atribuïm a que, durant la seva hidratació, no allibera hidròxid de calci. Precisament aquest fet és un dels punts claus per el qual hem decidit utilitzar CAC per a l'elaboració de fibrociment en el nostre estudi (Puig and Molins, 2000).

1.4. Les fibres

Des de l'antiguitat les fibres naturals han tingut un gran interès i infinitat d'usos. Actualment encara les fem servir i contínuament en trobem noves utilitats.

Les fibres són estructures unidimensionals sòlides i flexibles, amb una longitud normalment molt superior al seu diàmetre.

De forma general les fibres es poden classificar en funció del seu origen. A la Figura 1-2 podem veure aquesta classificació genèrica:

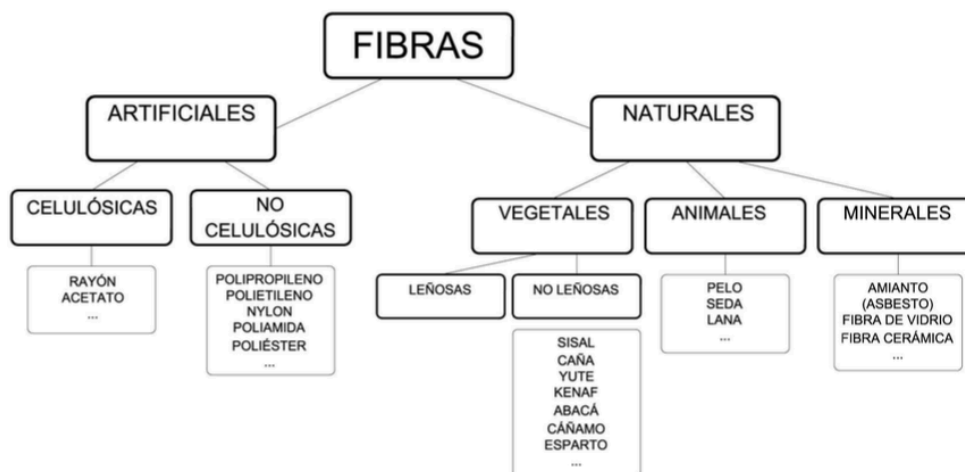


Figura 1-2 Classificació general de les fibres (Cobrerros and Avellaneda, 2015).

En aquest treball ens centrarem en les fibres d'origen vegetal.

1.4.1. Fibres d'origen vegetal

Són estructures compostes bàsicament per lignina i cel·lulosa, cada una d'aquestes aporta propietats diferents a les fibres vegetals.

- Lignines: impermeabilitzen, aporten duresa i resistència.
- Cel·lulosa: component primordial que aporta resistència a tracció i la flexibilitat característica de les fibres.

També trobem altres components minoritaris com aigua, pèptids, proteïnes i material inorgànic (Ardanuy, Claramunt and Toledo Filho, 2015).

Si ens fixem en la Figura 1-2 podem veure que dintre de la classificació de les fibres d'origen vegetal trobem dos tipologies diferents: les llenyoses i les no llenyoses. Aquestes es diferencien bàsicament per la seva relació entre la lignina i la cel·lulosa (Cobrerros and Avellaneda, 2015).

A la Taula 1-5 podem veure alguns exemples de fibres vegetals amb interès industrial:

Taula 1-5 Tipologies i característiques d'algunes fibres d'origen vegetal amb interès industrial.

Fibra	Origen de la fibra	Característiques
Cotó (<i>Gossypium</i>)	Del fruit que creix al voltant de les llavors de la planta de Cotó	És coneix com la fibra més popular del món gràcies al seu ús tèxtil
Cànem (<i>Cannabis sativa</i> L.)	De la tija de la planta de Cànem	Cultiu fàcil i de ràpid creixement amb infinitat d'usos com per exemple: tèxtil, compòsits, constructius, paperers...
Lli (<i>Linum usitatissimum</i>)	De la tija de la planta de Lli	S'utilitza en gran varietat de productes com el tèxtil i es cultiva en el nostre clima



Sisal (<i>Agave sisalana</i>)	De la fulla de la planta de Sisal	Es cultiva en gran varietat de climes calents
---------------------------------	-----------------------------------	---

1.4.2. Les fibres de lli

Linum usitatissimum és una planta anual que forma part de la família de les Linàcies, es cultivada de forma comercial per les seves fibres i llavors. Les fibres de lli han estat utilitzades com a tèxtil des de el temps dels Egipcis. D'altre banda també tenen altres usos comercials com per exemple la fabricació de materials compostos o la indústria paperera (paper de cigarrets, bossetes de te, paper artístic...).

Les plantes de lli tenen dues parts principals del seu tronc d'on s'extreuen les fibres: la primera correspon a la part més externa d'aquest que conté les fibres més llargues i la segona localitzada a la part interna del tronc o nucli on podem trobar les fibres més curtes.

Si parlem de la composició química de les fibres de lli podem veure com estan formades per lignina, cel·lulosa i hemicel·luloses tal i com s'ha comentat en el punt anterior. Les característiques conferides a aquestes fibres per a usos tèxtils recauen sobre la proporció de lignina i cel·lulosa presents en elles i també d'altres compostos principals com la hemicel·lulosa. Per tant veiem que la seva composició química queda de la següent manera (Martínez *et al.*, 2011):

- Lignina (5%)
- Cel·lulosa (78%)
- Hemicel·luloses (6%)

Degut a la gran proporció de cel·lulosa present ens trobem en front d'unes fibres altament flexibles i mal·leables.

1.4.3. No teixit

Quan parlem d'un material no teixit ens referim a un tipus de tèxtil que no ha estat teixit, es a dir que ha estat unit mitjançant processos mecànics, tèrmic o químics. Normalment es presenten en forma de làmines i són de gran utilitat per a l'estudi i el tractament de les fibres.

Al estar parlant d'un material que no està teixit, no està entrecreuat de forma ordenada, ens referim a una tipologia de làmines que no són del tot homogènies, podem trobar zones en que la densitat de fibres escassa i zones molt poblades.

Per al nostre estudi s'ha utilitzat un no teixit compost per fibres de lli. A continuació en la Figura 1-3 es pot observar aquest no teixit.



Figura 1-3 No teixit de lli (Font pròpia).

Tal i com es pot apreciar el no teixit no configura una “tela” del tot homogènia.

1.5. El fibrociment

Recentment ha incrementat l'interès per el medi ambient i per tots aquells processos productius que contribueixen al canvi climàtic. Es per aquest motiu que s'ha començat a investigar sobre la possibilitat de produir materials més respectuosos amb el medi ambient, o com s'anomenen avui en dia: materials “*ecofriendly*”. També s'ha de dir que aquest no es l'únic motiu per el qual s'està investigant sobre el fibrociment d'origen natural. L'idea d'unir fibres vegetals amb matrius cimentoses amb la finalitat de crear un material compost o *composite* prové de la necessitat d'obtenir un material que combini totes les propietats dels seus components, per tant parlem de sinèrgia.

El fibrociment, tal i com indica la seva pròpia paraula, prové de la unió de fibres i ciment, no necessàriament han de ser fibres vegetals, sinó que també contemplem les d'origen sintètic. Aquestes últimes són molt utilitzades avui en dia degut a les seves grans propietats físiques, químiques i mecàniques per al desenvolupament de materials de construcció. El gran inconvenient d'aquestes últimes és el gran impacte ambiental que generen durant el seu procés de fabricació (Ardanuy, Claramunt and Toledo Filho, 2015).

Aproximadament el 50% de les emissions d'efecte hivernacle provenen del sector de la construcció, per tant la utilització de fibres d'origen vegetal per a la producció de fibrociments és una bona alternativa per reduir aquests gasos (Claramunt, 2016).

Les fibres vegetals que configuren el fibrociment ens aporten una sèrie d'avantatges com per exemple:

- Són reciclables
- Biodegradables
- Baix cost d'obtenció
- Petjada de carboni nul·la
- Propietat físiques i mecàniques molt interessants

Dintre del que anomenem material compost cada un dels seus components aporta una sèrie de característiques úniques. El ciment ens donaria resistència i duresa mentre que les fibres contribuirien bàsicament en la flexibilitat, fent possible altres usos del material.

1.5.1. Interacció entre el ciment i les fibres vegetals

Tal i com s'ha descrit anteriorment avui en dia un dels principals problemes del fibrociment amb fibres d'origen vegetal consisteix en la degradació d'aquestes al estar en contacte permanent amb el ciment.

En funció del tipus de fibres, i del seu contingut en impureses, quan es mesclen amb el ciment aquestes afecten d'una manera o altre a la reacció d'hidratació del propi ciment, modificant el total de calor emesa de forma exotèrmica durant el procés. Un cop produïda aquesta reacció el medi es torna altament alcalí. Aquesta alcalinitat de l'ambient afecta directament a les fibres ja

que provoca una degradació dels carbohidrats de baix pes molecular (hemicel·luloses) presents a les fibres vegetals.

Nombrosos estudis han determinat que el ciment de tipus de Pòrtland hidrolitza les fibres vegetals. La hidròlisis es causada bàsicament per la pèrdua de les hemicel·luloses, en canvi aquesta no afecta al contingut en lignina. Conseqüentment a la disminució dels carbohidrats es produirà un decreixement de les propietats intrínseques de les fibres vegetals com a material de reforç per al ciment (Ardanuy *et al.*, 2011).

Aquest medi alcalí es provocat per la presència d'hidròxid de calci que el ciment Pòrtland produeix durant la seva reacció d'hidratació, per aquest motiu en el nostre estudi utilitzarem un altre tipus de ciment per comprovar si també es produeix degradació. La teoria ens indica que el ciment de tipus aluminós no genera hidròxid de calci, per tant hauríem de veure diferències. Més endavant a l'apartat de resultats comprovarem aquest fet.

Un altre dels problemes presents en el fibrociment amb fibres d'origen vegetal és la pèrdua d'adherència en el contacte de les fibres i el ciment, fet que limita els usos del material. Aquesta problemàtica l'atribuïm al canvi de volum que es dona a les fibres per efecte de canvis d'humitat o de temperatura, és el mateix fenomen que es presenta amb les fibres tèxtils quan les posem a la rentadora o assecadora. Es per aquest motiu que l'ús del fibrociment natural actualment es troba limitat a interiors, ja que en medis exteriors trobem canvis bruscos d'humitat i temperatura per acció de la meteorologia. Per tal de solucionar aquesta problemàtica es tracta prèviament la fibra amb varis cicles d'assecat-humitejat i d'aquesta forma aconseguim un canvi en la capacitat de retenció d'aigua de les fibres. El canvi correspon principalment en una alteració irreversible dels porus presents a les fibres reduint la seva permeabilitat. La utilització del tractament amb cicles d'assecat-humitejat rep el nom científic de cornificació (Claramunt *et al.*, 2011).

Ambdues problemàtiques entre les fibres i la matriu afecten a la durabilitat del material i per aquest motiu es necessiten solucions per a millorar i ampliar els usos del fibrociment d'origen vegetal.



2. Objectius de l'estudi

L'objectiu principal d'aquest estudi correspon a comprovar si mitjançant l'ús de ciment aluminós, per a la fabricació de fibrociment vegetal, aconseguim que no es produeixi una degradació de les fibres per part del ciment i d'aquesta manera obtenir un material amb unes bones propietats mecàniques, de durabilitat i mediambientals. Per tal de realitzar-ho s'han fixat dos objectius secundaris:

1. Trobar la composició més efectiva de la matriu en termes de propietats físiques i cost econòmic mitjançant una sèrie d'assajos mecànics.
2. Comprovar la durabilitat de les fibres de lli dintre de les diferents composicions de la matriu de ciment sota condicions de cicles d'assecat-humitejat.

Seguint aquests dos objectius secundaris podrem arribar de manera pautada al objectiu principal de l'estudi.

3. Material i mètodes

Un cop definits els objectius d'aquest estudi podem procedir a l'explicació i al detall de la part experimental. Per fer-ho dividirem aquest apartat en diferents subapartats corresponents als diversos assajos realitzats.

3.1. Assajos mecànics de les diferents dosificacions de les matrius

Per poder comprovar quines són les propietats mecàniques de les composicions de matrius proposades s'han construït tres provetes per a cada dosificació proposada i s'han deixat madurar a 7, 28 i 56 dies.

Un cop tenim les provetes elaborades i madurades s'han realitzat dos tipus d'assajos mecànics:

- Assaig de flexió de les provetes de CAC i MK
- Assaig de compressió de les provetes de CAC i MK

El disseny experimental dels dos assajos, amb les dosificacions, els temps de maduració i la nomenclatura usada es pot veure a la Taula 3-1:

Taula 3-1 Disseny experimental i nomenclatura dels assajos mecànics.

Assaig de flexió					
7 dies	CAC (% en pes)	MK (% en pes)	Proveta 1	Proveta 2	Proveta 3
	100	0	F7 100-1	F7 100-2	F7 100-3
	90	10	F7 90-1	F7 90-2	F7 90-3
	80	20	F7 80-1	F7 80-2	F7 80-3
	70	30	F7 70-1	F7 70-2	F7 70-3

	60	40	F7 60-1	F7 60-2	F7 60-3
	50	50	F7 50-1	F7 50-2	F7 50-3
28 dies	100	0	F28 100-1	F28 100-2	F28 100-3
	90	10	F28 90-1	F28 90-2	F28 90-3
	80	20	F28 80-1	F28 80-2	F28 80-3
	70	30	F28 70-1	F28 70-2	F28 70-3
	60	40	F28 60-1	F28 60-2	F28 60-3
	50	50	F28 50-1	F28 50-2	F28 50-3
56 dies	100	0	F56 100-1	F56 100-2	F56 100-3
	90	10	F56 90-1	F56 90-2	F56 90-3
	80	20	F56 80-1	F56 80-2	F56 80-3
	70	30	F56 70-1	F56 70-2	F56 70-3
	60	40	F56 60-1	F56 60-2	F56 60-3
	50	50	F56 50-1	F56 50-2	F56 50-3
Assaig de compressió					
7 dies	CAC (% en pes)	MK (% en pes)	Proveta 1	Proveta 2	Proveta 3
	100	0	C7 100-1 C7 100-2	C7 100-3 C7 100-4	C7 100-5 C7 100-6
	90	10	C7 90-1	C7 90-3	C7 90-5

			C7 90-2	C7 90-4	C7 90-6
	80	20	C7 80-1	C7 80-3	C7 80-5
			C7 80-2	C7 80-4	C7 80-6
	70	30	C7 70-1	C7 70-3	C7 70-5
			C7 70-2	C7 70-4	C7 70-6
	60	40	C7 60-1	C7 60-3	C7 60-5
			C7 60-2	C7 60-4	C7 60-6
	50	50	C7 50-1	C7 50-3	C7 50-5
			C7 50-2	C7 50-4	C7 50-6
	28 dies	100	C28 100-1	C28 100-3	C28 100-5
			C28 100-2	C28 100-4	C28 100-6
		90	C28 90-1	C28 90-3	C28 90-5
			C28 90-2	C28 90-4	C28 90-6
		80	C28 80-1	C28 80-3	C28 80-5
			C28 80-2	C28 80-4	C28 80-6
		70	C28 70-1	C28 70-3	C28 70-5
			C28 70-2	C28 70-4	C28 70-6
		60	C28 60-1	C28 60-3	C28 60-5
			C28 60-2	C28 60-4	C28 60-6

	50	50	C28 50-1 C28 50-2	C28 50-3 C28 50-4	C28 50-5 C28 50-6
56 dies	100	0	C56 100-1 C56 100-2	C56 100-3 C56 100-4	C56 100-5 C56 100-6
	90	10	C56 90-1 C56 90-2	C56 90-3 C56 90-4	C56 90-5 C56 90-6
	80	20	C56 80-1 C56 80-2	C56 80-3 C56 80-4	C56 80-5 C56 80-6
	70	30	C56 70-1 C56 70-2	C56 70-3 C56 70-4	C56 70-5 C56 70-6
	60	40	C56 60-1 C56 60-2	C56 60-3 C56 60-4	C56 60-5 C56 60-6
	50	50	C56 50-1 C56 50-2	C56 50-3 C56 50-4	C56 50-5 C56 50-6

3.1.1. Materials

Per a la fabricació de les provetes s'ha utilitzat el següent material (les especificacions tècniques dels materials marcats amb un asterisc es poden consultar al Annex A):

1. Ciment d'aluminat de calci Electroland (EN 14647 CAC) de Ciments Molins Industrials*.
2. Metacaolín Peser de ARCIRESA*.
3. Fluïdificant Sika Viscorete 3425*.

4. Desencofrant Sika LN*.
5. Aigua desionitzada.

Hem considerat que es important destacar les principals propietats i composicions dels dos materials més usats en aquest estudi.

En la Taula 3-2, mostrada a continuació, es poden observar algunes de les característiques més rellevants del CAC (EN 14647 CAC) i els seus components majoritaris:

Taula 3-2 Característiques principals del ciment aluminós (EN 14647 CAC).

Components majoritaris	% en pes
Al_2O_3	41,5
CaO	38,1
Fe_2O_3	13,2
Densitat aparent (g/cm^3)	1,1
Pes específic (g/cm^3)	3,2
Altres característiques	<ul style="list-style-type: none"> • Enduriment ràpid • Elevada resistència a l'abrasió • No allibera hidròxid de calci durant la seva hidratació • Altament refractari

També hem confeccionat la Taula 3-3 que ens mostra algunes de les característiques principals del Metacaolín Peser i els seus components majoritaris:



Taula 3-3 Característiques principals del Metacaolín Peser.

Components majoritaris	% en pes
Al_2O_3	40,24
SiO_2	54,61
Fe_2O_3	0,25
Densitat aparent (Kg/m^3)	600
Pes específic (g/cm^3)	2,54
Altres característiques	<ul style="list-style-type: none"> • Color blanc • Aporta menor porositat al material • Millora la durabilitat del formigó

3.1.2. Fabricació de les provetes

Tal i com s'ha comentat anteriorment existeix un marc normatiu per a l'elaboració de les provetes i per al seu assaig mecànic, en aquest cas hem seguit la Norma UNE-EN 196-1 especificada anteriorment.

Primer de tot es va fer el morter amb les diferents dosificacions mostrades a la Taula 3-1. Per realitzar-ho es va utilitzar una relació aigua-ciment de 0,3 amb un pes total de ciment i material putzolànic de 1,5 Kg i 0,45 Kg d'aigua desionitzada, suficient per omplir un motlle de 4x4x16 cm. Sobre aquest pes i aquesta relació es va treballar i es van fabricar les diferents dosificacions. Per exemple en el cas de la composició 80/20 es va pesar 1,2 Kg de CAC més 0,3 Kg de MK i 0,45 d'aigua. Segons les especificacions de la Norma UNE-EN 196-1 el pes final del morter ha de ser $1,95 \text{ Kg} \pm 0,08 \text{ Kg}$.

Seguidament s'amassava la pasta mitjançant la pastadora automàtica i en algunes de les dosificacions s'havia d'afegir unes gotes de fluïdificant ja que l'augment progressiu de material putzolànic comportava que la manipulació del morter sigues més complicada. Aquest fet l'atribuïm a la mida petita i a la forma laminar del gra de MK. Un gra laminar genera un fregament superior i costa més de moure'l. L'addició d'aquest fluïdificant no ha estat contemplada al pes total del morter ja que és tant poca la quantitat afegida (2 o 3 gotes) que no resulta significant a l'hora de comptabilitzar els pesos finals.

De cada motlle obtindrem 3 provetes de la mateixa mida i característiques, tenint en compte que el motlle té la seva tolerància en quant a la mida. A continuació a la Figura 3-1 podem veure un esquema dels motlles.

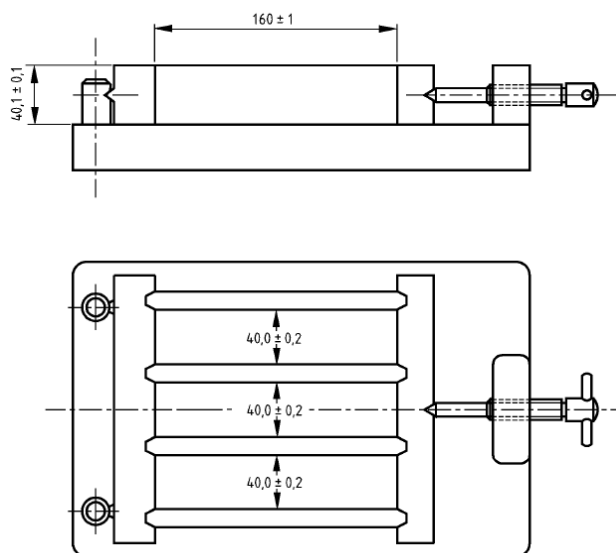


Figura 3-1 Motlles per a la fabricació de provetes segons la norma UNE-EN 196-1 (AENOR, 2005).

Abans d'introduir el morter dintre dels motlles primerament es donarà una capa de desencofrant per tal de poder desemmotllar més fàcilment. El procediment per omplir-los és el següent:

1. Fixar el motlle a la màquina compactadora (Figura 3-2).
2. Omplir-ne la meitat de manera uniforme mitjançant una espàtula.
3. Compactar la primera capa amb 60 cops de la compactadora.
4. Acabar d'omplir de manera uniforme la part restant del motlle mitjançant una espàtula.
5. Acabar de compactar tot el morter amb 60 cops més de la compactadora.

6. Retirar el motlle de la compactadora (Figura 3-2).
7. Enrasar el morter mitjançant una regla específica.
8. Tapar el motlle amb un film d'un material que no reaccioni amb el morter (plàstic).
9. Desemmotllar al cap de 24 hores i marcar-les (Figura 3-2).
10. Introduir les provetes a la cambra de maduració amb una temperatura de $21^{\circ}\text{C} \pm 1$ i un $\approx 95\%$ d'humitat durant 7,28 o 56 dies segons pertoqui (Figura 3-2).



Figura 3-2 D'esquerra a dreta 1) Compactadora 2) Motlle i espàtula 3) Provetes desemmotllades 4) Cambra de maduració (Font Pròpia).

3.1.3. Assaig mecànic de les provetes

Un cop preparades totes les provetes i madurades el temps necessari procedirem al seu assaig mecànic.

Primerament començarem per l'assaig a flexió de tres punts mitjançant una premsa multiassaig hidràulica Incotècnic. Les especificacions d'aquest test queden relaxades a la Normativa UNE-EN 196-1 descrita anteriorment. A continuació en la Figura 3-3 i 3-4 es pot veure quina és la col·locació de la proveta al dispositiu de càrrega i quins són els tres punts que la suporten.

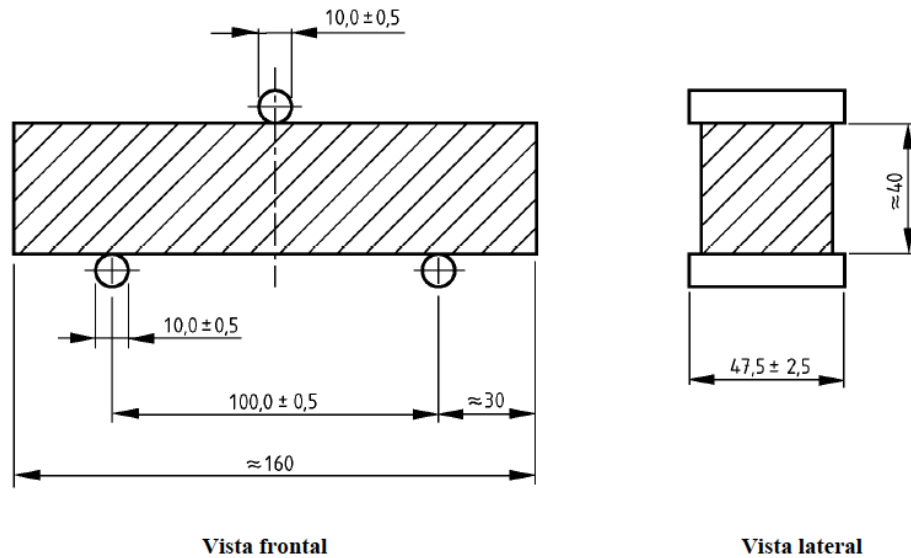


Figura 3-3 Dispositiu de càrrega per a la determinació de la resistència a flexió (AENOR, 2005).

Per a realitzar aquest assaig es va configurar la premsa amb una cèl·lula de càrrega de 3 kN, una velocitat de posició de 1 mm/min i una precàrrega de 3 Kg.

De cada proveta trencada n'obtenim dos seccions que posteriorment s'assajaran a compressió.

El programa específic de gestió i control de la premsa ens indica els Kilo-Newtons de força aplicades i els mil·límetres de desplaçament fets, tota aquesta informació es veu reflectida en un gràfic en el que podem veure el punt de ruptura. A l'apartat de resultats analitzarem aquestes gràfiques.

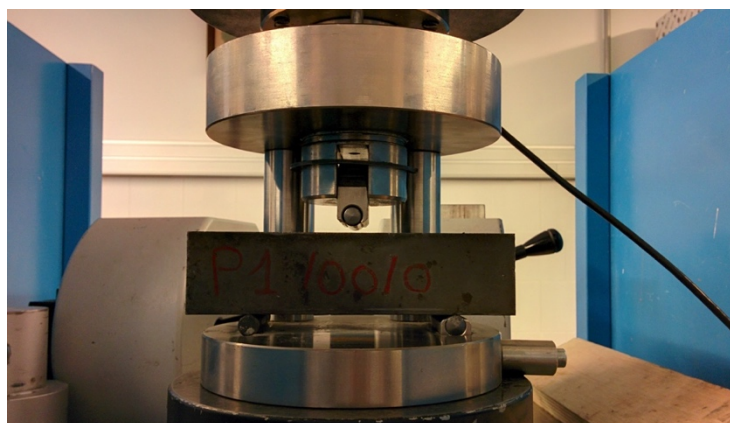


Figura 3-4 Dispositiu de flexió de tres punts i proveta 1 100/0 (Font pròpia).

Per el posterior assaig a compressió varem utilitzar una cèl·lula de càrrega més potent (20 KN), degut que la resistència és molt més elevada, i un dispositiu de càrrega amb una disposició diferent (Figura 3-5). La precàrrega de la cèl·lula es va configurar a 20 kg i la velocitat de posició igual que en cas anterior (1 mm/min).

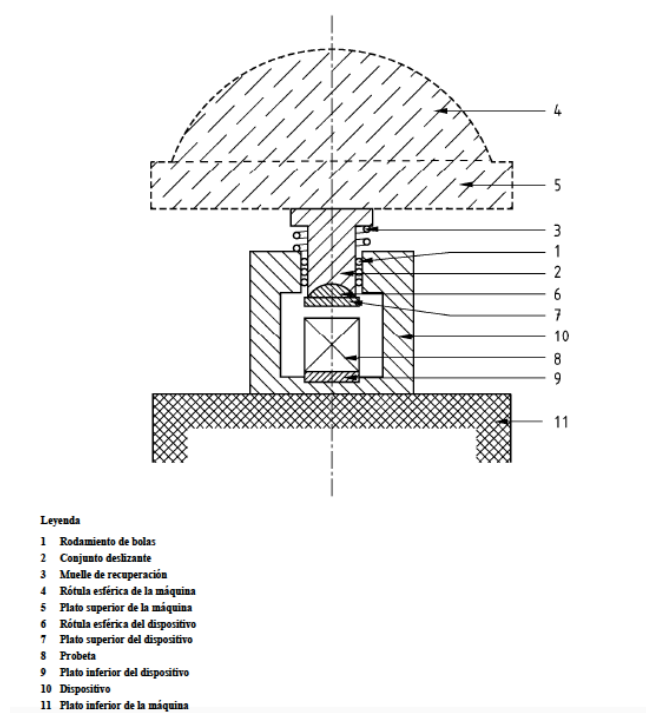


Figura 3-5 Dispositiu de càrrega per assaig de compressió (AENOR, 2005).

3.2. Assaig de durabilitat de les fibres de lli

En aquest apartat explicarem quins varen ser el procediments duts a terme per estudiar la durabilitat de les fibres lli en una matriu de CAC i MK.

Per a dur a terme l'assaig es submergiran unes mostres de no teixit en una matriu líquida de cada dosificació i se les sotmetrà a una sèrie de cicles d'assecat humitejat, finalitzats els quals s'estudiaran les propietats mecàniques i s'observaran al microscopi electrònic. Per aquest motiu l'assaig es dividirà en quatre parts:

- Preparació de la matriu líquida.
- Cicles d'assecat-humitejat.

- Assaig a tracció de les fibres de lli.
- Anàlisi de les fibres mitjançant microscòpia electrònica d'escombrada (*Scanning electronic microscop, SEM*).

3.2.1. Materials

Per a dur a terme les quatre parts en les que hem dividit aquest assaig de durabilitat vàrem utilitzar els següents materials (les especificacions tècniques dels materials marcats amb un asterisc es poden consultar al Annex A):

1. Ciment d'aluminat de calci Electroland (EN 14647 CAC) de Ciments Molins Industrials*.
2. Metacaolín Peser de ARCIRESA*.
3. Fibres de lli (*Linum usitatissimum*) provinents del Fibers Development Research (FRD) de la Technopole de l'Aube en Champagne (França).
4. No teixit confeccionat per el Grup de Recerca en Tecnologia Textil (TECTEX) de la Universitat Politècnica de Catalunya (Terrassa, Barcelona).
5. Aigua desionitzada.
6. Microscopi electrònic JSM-5610 de Jeol.
7. Texturòmetre TA.XTPLUS/30 de Stable Micro Systems.
8. Agitadora automàtica PW Overhead Stirrer de VELP Scientifica.
9. Estufa.

3.2.2. Preparació de la matriu líquida

Hem avaluat la durabilitat de les fibres de lli sota unes condicions molt desfavorables amb la intenció d'analitzar com es veuen afectades.

Primerament vàrem mantenir les fibres de lli, en forma de tiretes de no teixit, submergides en morter de CAC i MK. Per a dur a terme això es va haver de fabricar un per a cada dosificació de CAC i MK, i que aquest no arribes mai a endurir-se i mantingues el seu estat líquid. Conservar aquest estat del morter és molt important ja que posteriorment haurem de rescatar les tiretes de no teixit d'aquesta mescla. Mantenint el morter recent fet en constant agitació durant 7 dies consecutius i amb una addició d'aigua molt elevada van permetre que aquest es mantingues en

estat líquid en el temps, sempre i quan s'agités una mica de tant en tant per evitar que algunes parts endurissin.

Un cop teníem aquest morter en estat líquid procedíem a omplir 6 potets amb aquesta mescla per a cada dosificació. En cada un d'ells vàrem inserir una tireta de no teixit de lli, amb unes mesures de 17x4 cm aproximadament.

3.2.3. Cicles d'assecat-humitejat

Una vegada preparades totes les matrius líquides es va procedir a realitzar cicles d'assecat humitejat a cada un dels potets. De les 6 mostres preparades per a cada dosificació, tres varen ser sotmeses a 5 cicles i les tres restants a 10. A la Figura 3-6 es pot observar el disseny experimental d'aquest procés:

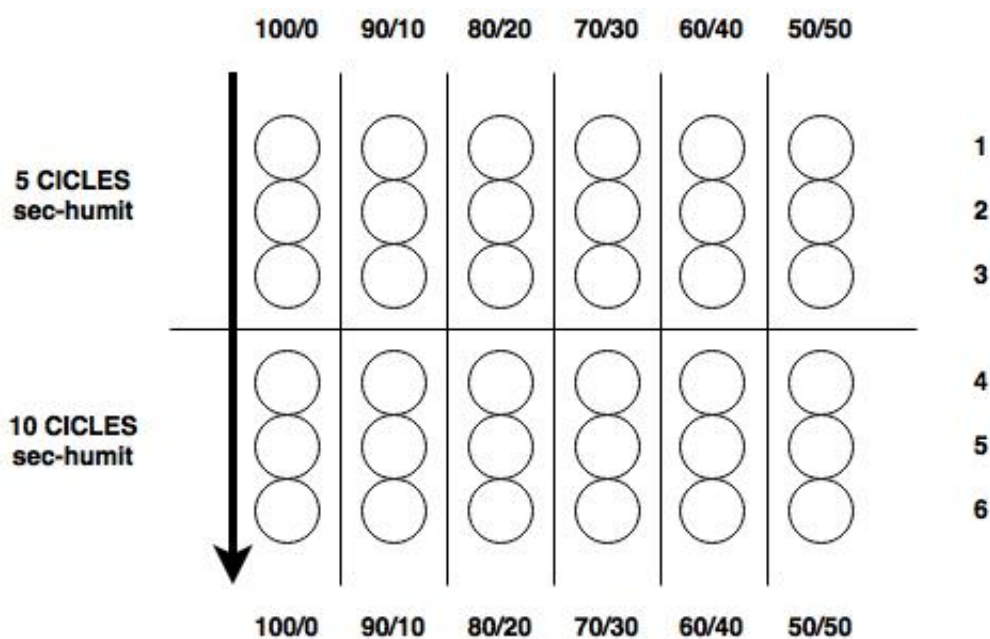


Figura 3-6 Esquema experimental dels cicles d'assecat-humitejat (Font pròpia).

Cada cicle d'assecat-humitejat consistia primerament en col·locar cada un dels pots, destapats i amb la fibra de no teixit en el seu interior, a dintre de l'estufa a 60°C durant 3 dies. Un cop transcorregut aquest temps els retiràvem i els tornàvem a hidratar mitjançant l'addició d'aigua desionitzada. Finalment es mantenien hidratats durant 4 dies. Tal i com es pot veure cada cicle d'assecat-humitejat complet tenia una duració total de set dies i cada un d'ells es realitzava de forma consecutiva i sense pausa.

En el moment en que cada sèrie de mostres finalitzava els cicles que li pertocaven es rescatava la fibra del seu interior i es rentava amb aigua desionitzada per tal d'intentar eliminar, el màxim possible, qualsevol resta de morter. Les fibres netes s'introduïen de nou a l'estufa amb la finalitat d'eliminar tota la humitat present i seguidament les guardàvem al buit per al seu posterior anàlisi amb el microscopi electrònic i també per el seu assaig a tracció.

3.2.4. Assaig a tracció de les fibres de lli

En el moment en que teníem la fase anterior finalitzada volíem analitzar la resistència a tracció d'aquestes fibres per esbrinar si per acció dels cicles d'assecat-humitejat en diferents matrius de CAC i MK ens afectava a les seves propietats mecàniques.

Cada una de les tiretes de no teixit rescatades en el procés anterior es va utilitzar per a retallar 10 tiretes més petites, amb unes dimensions de 1x4cm, per a cada dosificació del morter i per a cada successió de 5 cicles. De tal manera que obteníem un total de 60 tiretes sotmeses a 5 cicles d'assecat-humitejat i 60 més sotmeses a 10, cada una degudament retolada i pesada.

L'assaig a tracció es va dur a terme mitjançant un texturòmetre del laboratori d'anàlisi d'aliments de l'ESAB. Aquest consistia en assajar cada tireta de no teixit de forma individual i a través d'aquest aparell saber quina era la seva resistència a tracció. La cèl·lula de càrrega emprada per aquest assaig va ser de 5 KN i la distància entre les pinces que subjectaven la tira de no teixit era de 10 mm.

El software propi de la màquina ens aportava tota la informació sobre l'estat de l'assaig i ens permetia configurar la seva velocitat i la precàrrega inicial de la cèl·lula. Aquestes han estat utilitzades en l'apartat de l'anàlisi de resultats.

A la Figura 3-7 es mostra el texturòmetre amb una tireta preparada per assajar-se:



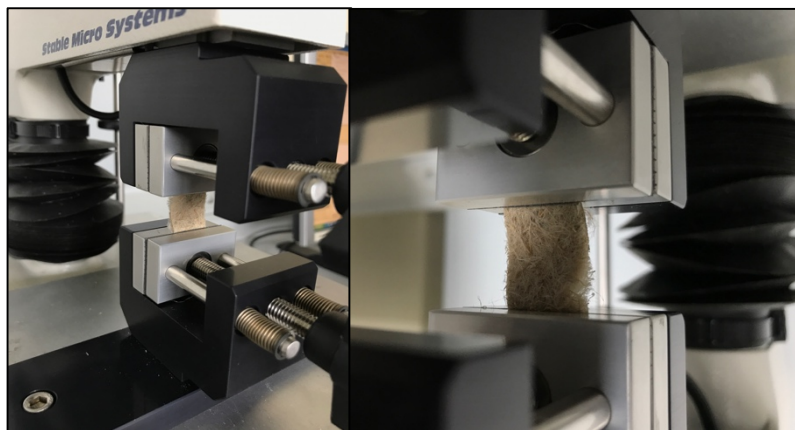


Figura 3-7 Texturòmetre i tireta de no teixit col·locada per el seu assaig a tracció (Font Pròpia).

3.2.5. Anàlisis de les fibres mitjançant microscòpia electrònica

Les mostres de no teixit sobrants, després de retallar les tiretes, s'han utilitzat per al seu anàlisis amb el microscopi electrònic situat l'escola de Terrassa de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Per tal de veure les fibres mitjançant aquest microscopi es necessari un preparació prèvia d'aquestes. El procés consisteix en retallar un pedaç de no teixit molt petit, assegurar-nos de que no conte pols ni altres contaminants i metal·litzar-lo mitjançant un bany d'or per permetre que el feix d'electrons provinent del microscopi travessi la mostra. Tot aquest procediment va ser dut a terme per la tècnica de laboratori, de la UPC de Terrassa, encarregada de la manipulació d'aquest equip.

Gràcies a les imatges proporcionades per el microscopi electrònic podem avaluar si les fibres que conformen el no teixit han patit algun tipus de degradació al estar en contacte amb les matrius de ciment aluminós i metacaolín.

Es van realitzar tres captures d'imatge per a cada mostra de cada dosificació i cicle d'assecat-humitejat. Cada una d'aquestes corresponia a uns augments concrets. Per exemple, de la mostra amb la dosificació 50/50 i sotmesa a 10 cicles d'assecat-humitejat es van realitzar dues captures a 1000 augments, dos a 5000 i una a 50. Les més interessants a l'hora d'apreciar possibles degradacions són les fetes a 1000 i 5000 augments.

A continuació en la Figura 3-8 es pot veure el microscopi electrònic per fora i un exemple de les imatges provinents d'aquest:

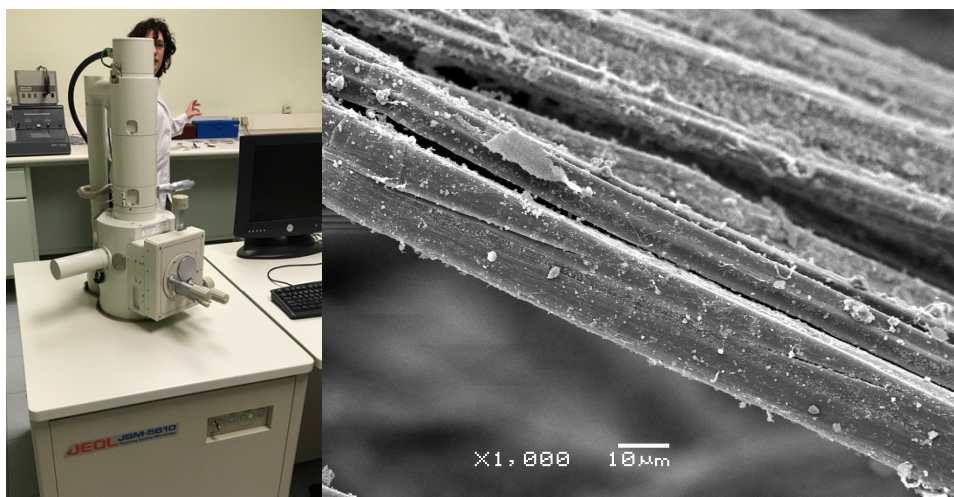


Figura 3-8 Microscopi electrònic i mostra 70/30 sotmesa a 10 cicles d'assecat-humitejat (Font Pròpia) .

4. Anàlisis dels resultats

Tots els resultats provinents dels mètodes descrits anteriorment es mostraran i s'analitzaran en aquest apartat de l'estudi.

4.2. Resultats dels assajos mecànics de les diferents dosificacions

Tal i com s'ha explicat en l'apartat de mètodes es van realitzar dos assajos mecànics a cada una de les provetes resultants de cada dosificació. Primerament analitzarem els resultats de l'assaig de flexió i seguidament els de compressió.

4.2.1. Resultats de l'assaig de flexió

De cada proveta assajada obteníem una sèrie de dades que feien referencia a la força aplicada a flexió expressada en KN i al desplaçament realitzat per el suport mòbil en mil·límetres fins arribar al trencament de la proveta.

El nostre objectiu era calcular la tensió aplicada a la proveta en MPa (N/mm^2) en funció del desplaçament fet per la premsa. Per a fer aquesta conversió vàrem utilitzar la següent fórmula:

$$Tensió \text{ (MPa)} = \frac{3 \cdot \text{Força aplicada a la proveta (N)} \cdot \text{Longitud del suport (mm)}}{2 \cdot \text{Base de la proveta (mm)} \cdot \text{Gruix de la proveta (mm)}^2} = \frac{N}{\text{mm}^2} = \text{MPa (4-1)}$$

Un cop aplicada la fórmula (4-1), per a cada valor de tensió en MPa calculat podem confeccionar un gràfic conjuntament amb el desplaçament on es pot observar el punt de ruptura de la proveta (*Modulus of rupture* o MOR). Aquest punt de ruptura correspon a la força màxima aplicada.

Per tal d'analitzar de forma senzilla totes les dades registrades per la premsa, durant l'assaig de flexió, i poder aplicar la fórmula (4-1) hem hagut d'eliminar valors repetits o molt pròxims mitjançant un filtre, ja que disposàvem de milers de valors per a cada proveta.

De les tres provetes assajades per dosificació i temps de maduració (Taula 3-2) hem escollit la més significativa de cada sèrie fent la mitjana aritmètica dels diferents valors de MOR i triant la que més s'acostava a aquest valor de referencia.

A continuació en les Figures 4-1, 4-2 i 4-3 podem veure els resultats del assaig de flexió classificats per temps de maduració de les provetes assajades:

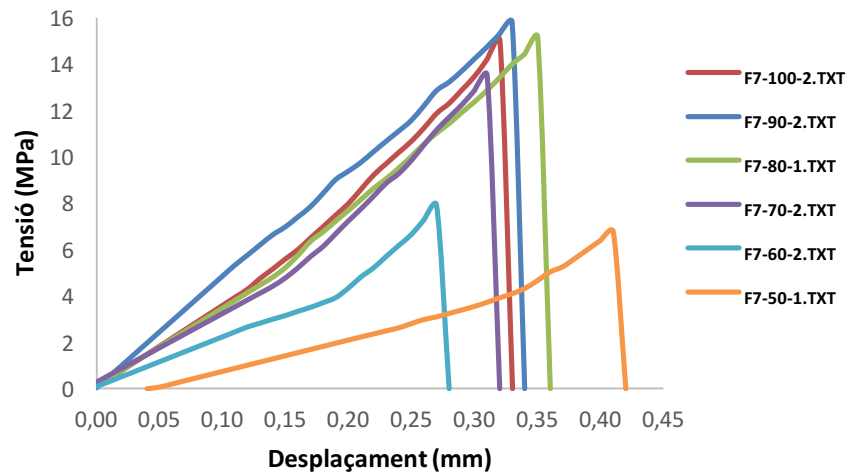


Figura 4-1 Valors de tensió a flexió per a cada dosificació amb 7 dies de maduració.

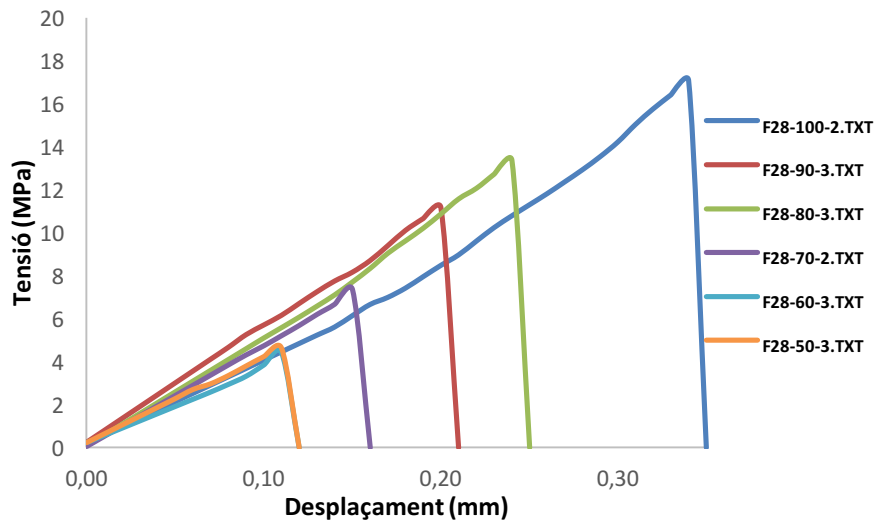


Figura 4-2 Valors de tensió a flexió per a cada dosificació amb 28 dies de maduració.

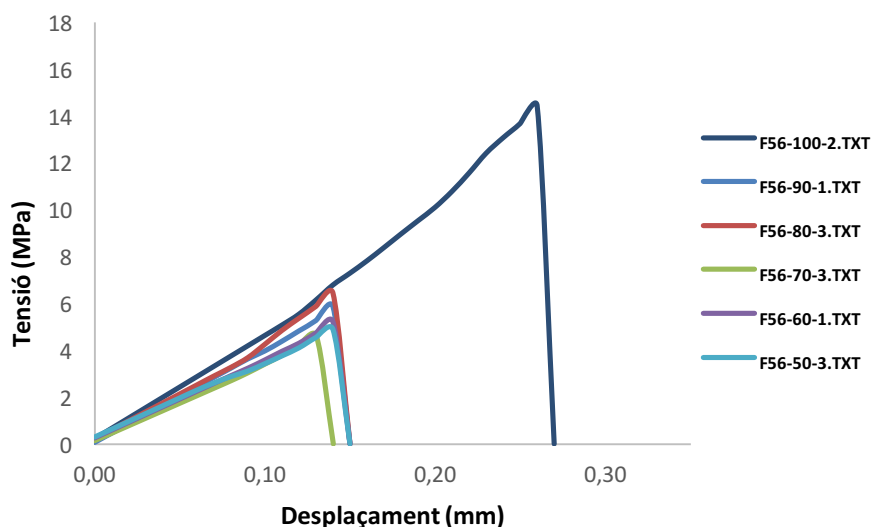


Figura 4-3 Valors de tensió a flexió per a cada dosificació amb 56 dies de maduració.

En les tres figures anteriors podem veure els gràfics que ens mostren la tensió a la que ha estat sotmesa cada proveta i el desplaçament dut a terme per la premsa. Evidentment al analitzar les matrius sense fibres al seu interior el punt de ruptura és sobtat i no s'aprecia cap deformació del material.

Podem observar que els valors de tensió de totes les dosificacions 100/0 són els més elevats ja que al no contenir material putzolànic el CAC per si sol és molt resistent. A mesura que anem disminuint la proporció de CAC a la matriu veiem com es produeix un decreixement de la tensió i el punt de ruptura (MOR) és més baix.

En el cas de les provetes sotmeses a 7 dies de maduració el comportament és més dispers. Veiem que les que han madurat 28 i 56 dies segueixen un patró una mica més clar i la tensió disminueix a mesura que disminuïm el contingut en CAC. Aquesta disminució no és del tot desfavorable ja que no es necessari obtenir un material amb resistències tant elevades per al seu us en construcció, més endavant veurem que la dosificació escollida va en funció del cost de producció de la proveta i de les seves propietats mecàniques.

A la Figura 4-4 es mostra un gràfic de barres on podrem comparar de forma clara els valors de la tensió per a cada dosificació i agrupats per dies de maduració.

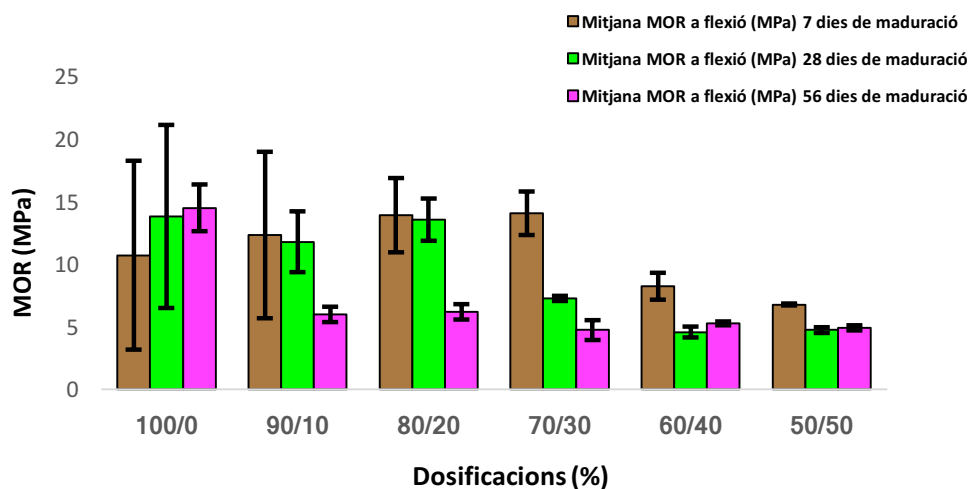


Figura 4-4 Punt de ruptura (MOR) mitjà per a cada dosificació i temps de maduració a flexió.

En la figura anterior es pot apreciar un patró molt clar de disminució de la resistència a flexió a mesura que disminuïm la dosificació i a mesura que augmentem el temps de maduració. Aquest tipus de comportament no es compleix en la dosificació 100/0 ja que, tal i com es pot veure, la resistència del material augmenta de forma gradual amb el temps de maduració. Al no tenir cap mena de material putzolànic el seu comportament és típic de la reacció d'enduriment del CAC.

Les barres d'error ens mostren la desviació del MOR sobre la mitjana i podem veure com aquest és més gran en les provetes que han madurat només 7 dies. Aquest fet el podem atribuir al poc temps de maduració, podria ser que algunes encara no haguessin acabat d'endurir del tot. Es pot apreciar com l'error en els temps de maduració superiors són més petits.

4.2.2. Resultats de l'assaig de compressió

L'assaig de compressió dut a terme a les provetes un cop han estat trencades a flexió segueix el mateix esquema d'anàlisi que l'anterior. De cada proveta obteníem dos parts que podíem assajar i una sèrie de dades sobre la força i el desplaçament realitzat per la premsa hidràulica en cada moment de la prova. Els gràfics resultants es mostren en les Figures 4-5, 4-6 i 4-7.

La tensió màxima o MOR ha estat calculada mitjançant la fórmula 4-2 a continuació:

$$Tensió \text{ (MPa)} = \frac{\text{Força aplicada a la proveta (N)}}{\text{Àrea de la proveta (mm}^2\text{)}} = \frac{N}{\text{mm}^2} = \text{MPa} \quad (4-2)$$

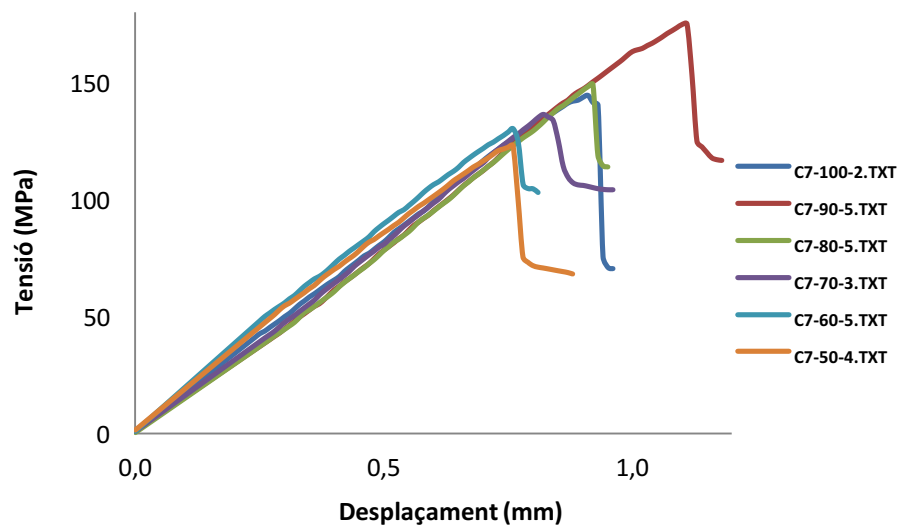


Figura 4-5 Valors de tensió a compressió per a cada dosificació amb 7 dies de maduració.

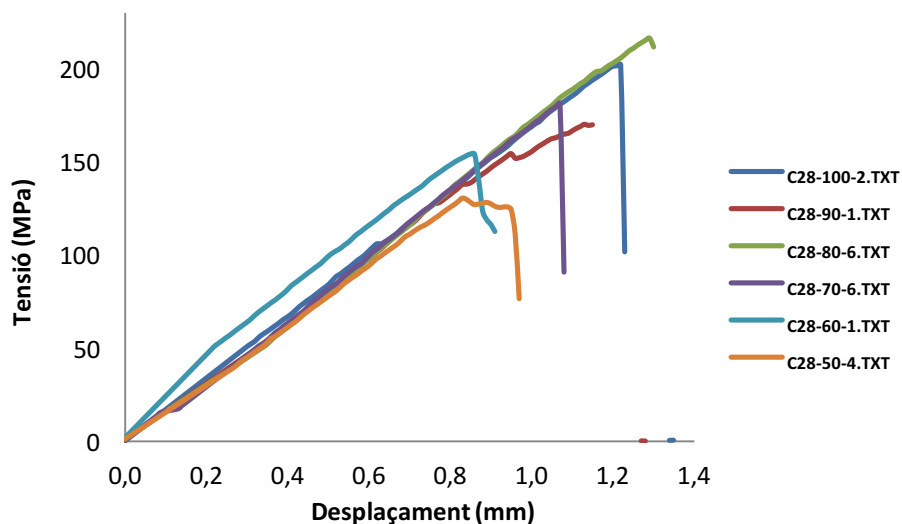


Figura 4-6 Valors de tensió a compressió per a cada dosificació amb 28 dies de maduració.

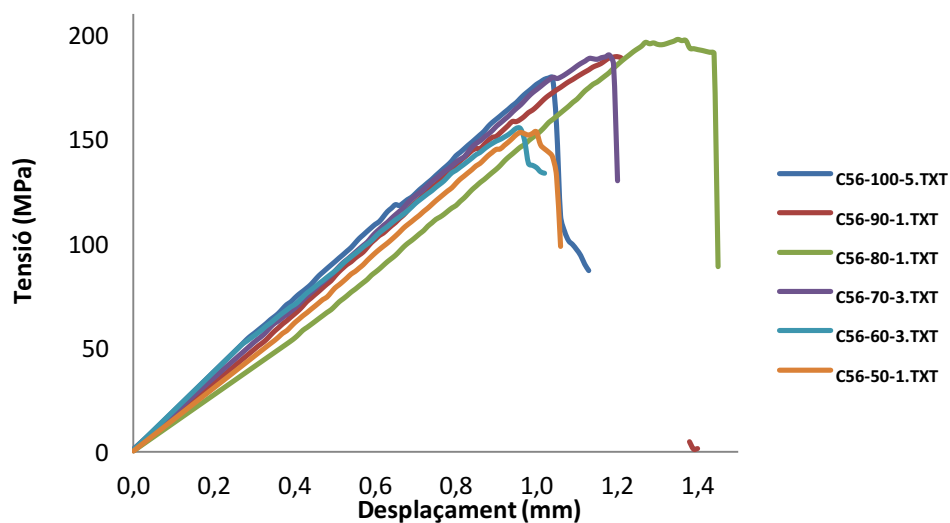


Figura 4-7 Valors de tensió a compressió per a cada dosificació amb 56 dies de maduració.

Tal i com es pot veure a les figures anteriors les resistències a compressió són molt més elevades que a flexió. De forma contrària a la flexió veiem que en aquest cas les resistències no disminueixen amb les dosificacions. No segueixen un patró gaire definit. Les úniques que sí decreixen de forma clara són les dosificacions 60/40 i 50/50. El contingut de MK és massa elevat, més del que recomana el fabricant per poder afavorir a les propietats mecàniques del material.

Amb les gràfiques anteriors és una mica difícil poder determinar quin és el comportament general de totes les provetes en funció de les dosificacions i dels temps de maduració.

De moment l'única conclusió que en podem treure és que les resistències a compressió són més elevades que a flexió i que aquestes no segueixen un patró en funció del contingut de CAC i MK present a la matriu.

En la Figura 4-8, mostrada a continuació, podrem analitzar el comportament global d'aquest assaig, observant el punt de ruptura (MOR) de cada grup de provetes:

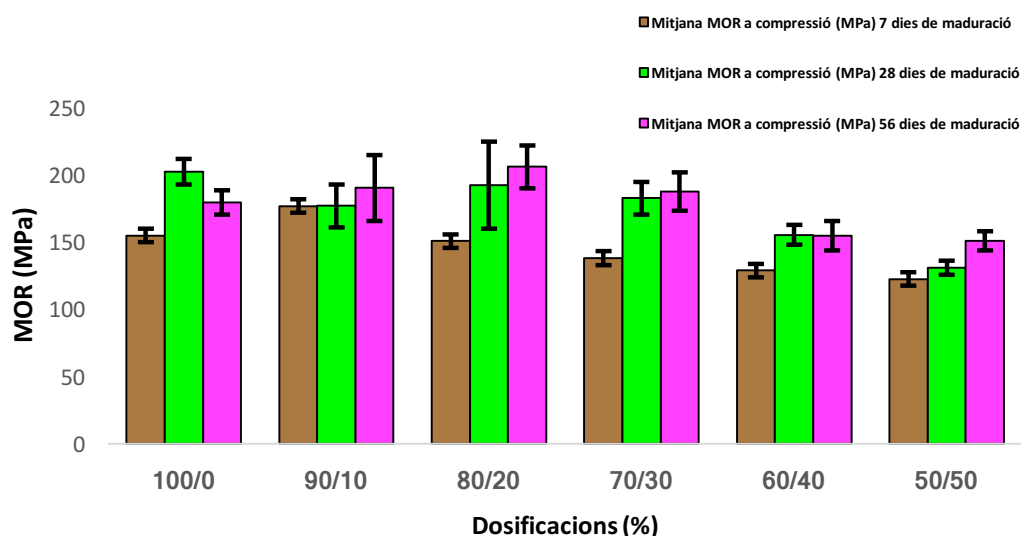


Figura 4-8 Punt de ruptura (MOR) mitjà per a cada dosificació i temps de maduració a compressió.

A la Figura 4-8 es pot veure com a mesura que s'augmenta el temps de maduració la resistència a compressió és una mica més elevada, en tots els casos menys en la 100/0. Per les dosificacions 70/30 i 60/40 veiem un augment molt petit i si ens fixem en les dispersions podríem arribar a pensar que la resistència es manté. Estem parlant d'un cas amb una tendència contrària als resultats obtinguts de les mateixes provetes a l'assaig de flexió. Es a dir, la resistència a flexió disminueix en el temps i la resistència a compressió representa un augment moderat. La Norma del formigó EHE-08 (Ministerio de Fomento, 2011) ens parla del cas contrari, diu que les dues resistències són proporcionals i van en la mateixa direcció, de fet presenten una fórmula per calcular la resistència a compressió d'un material a partir dels seus resultats a flexió. (Ministerio de Fomento, 2011)

Podríem explicar aquest fet atribuint aquests canvis de resistència a l'addició de MK. Aquest material provocaria un canvi en les propietats mecàniques del material.

La compressió depèn de la porositat del material i aquesta es manté constant ja que la resistència augmenta amb el temps tal i com indiquen altres estudis. En canvi, la resistència a flexió depèn de l'adherència entre les partícules del material i aquesta ha disminuït fruit dels productes generats al mesclar el CAC amb MK, fet que explicaria aquesta davallada de la resistència a flexió. Si ens

fixem en la Figura 4-4 i 4-8 veiem com en la dosificació 100/0 les dues tipologies de resistències estudiades augmenten en el temps, per tant donen la raó a la Norma EHE-08. De totes maneres per poder veure concretament que ha passat caldrien més estudis al respecte que analitzessin les interaccions entre les partícules del material compost de CAC i MK.

4.2.3. Resultats finals de l'assaig mecànic

Un cop vists els comportaments mecànics de les provetes amb diferents dosificacions caldrà escollir la que ens porti millor resistència a un cost de producció més baix.

Degut a les tendències contradictòries de les resistències comentades anteriorment hem escollit dues dosificacions diferents en funció de l'ús que es vulgui donar a la matriu. Es a dir, si el material que necessitem produir tindrà una aplicació constructiva on les forces a flexió siguin les protagonistes escollirem una dosificació concreta. I en el cas de necessitar un material que suporti molt bé forces de compressió triarem una dosificació diferent.

Les resistències utilitzades per l'anàlisi han sigut les obtingudes a 56 dies de maduració ja que al voler un material que es pugui usar amb finalitats constructives aquest estarà sotmès a forces externes durant un temps molt prolongat.

S'ha calculat el cost final i el coeficient α segons les fórmules 4-3 i 4-4 respectivament.

$$Cost\ final\left(\frac{\text{€}}{\text{tona}}\right) = (\%CAC \cdot Preu\ CAC) + (\%MK \cdot Preu\ MK) \quad (4-3)$$

$$Coeficient\ \alpha = \frac{Resistència\ (MPa)}{Cost\ final\left(\frac{\text{€}}{\text{tona}}\right)} \quad (4-4)$$

El coeficient α calculat segons la fórmula 4-4 ens indica quina és la relació entre la resistència de la dosificació i el seu cost de producció. El nostre objectiu serà escollir la que ens porti més resistència a un preu més baix, per tant el valor de α més gran serà el que ens indiqui això

Les Taules 4-1 i 4-2 ens mostren els preus de compra de les dues matèries primeres necessàries, el cost de fabricació d'una tona de provetes, les seves resistències, i un coeficient que ens indicarà quina de les dosificacions és la més equilibrada, el qual hem anomenat alpha (α).



Taula 4-1 Anàlisi resistència-cost de les dosificacions a flexió.

Preu CAC (€/tona)	Preu MK (€/tona)	% CAC	% MK	Cost final (€/tona)	Resistència flexió 56 dies (MPa)	α Flexió
375	125	100	0	375	14,47	0,039
375	125	90	10	350	5,95	0,017
375	125	80	20	325	6,17	0,019
375	125	70	30	300	4,72	0,016
375	125	60	40	275	5,23	0,019
375	125	50	50	250	4,88	0,020

Taula 4-2 Anàlisi resistència-cost de les dosificacions a compressió.

Preu CAC (€/tona)	Preu MK (€/tona)	% CAC	% MK	Cost final (€/tona)	Resistència compressió 56 dies (MPa)	α Compressió
375	125	100	0	375	179,08	0,478
375	125	90	10	350	190,11	0,543
375	125	80	20	325	205,72	0,633
375	125	70	30	300	187,22	0,624
375	125	60	40	275	154,44	0,562
375	125	50	50	250	150,48	0,602

A les Taules 4-1 i 4-2 estan marcades de color verd les dosificacions més adequades en cada cas segons les nostres premisses definides anteriorment.

Si necessitem fabricar un material que suporti molt bé les forces a flexió utilitzarem una dosificació de CAC i MK de 100/0 i si volem un material, el qual estarà sotmès bàsicament a forces de compressió, escollirem una dosificació de fabricació de 80/20.

A continuació en la Figura 4-9 podem veure la relació entre la resistència i el cost d'una manera més senzilla:

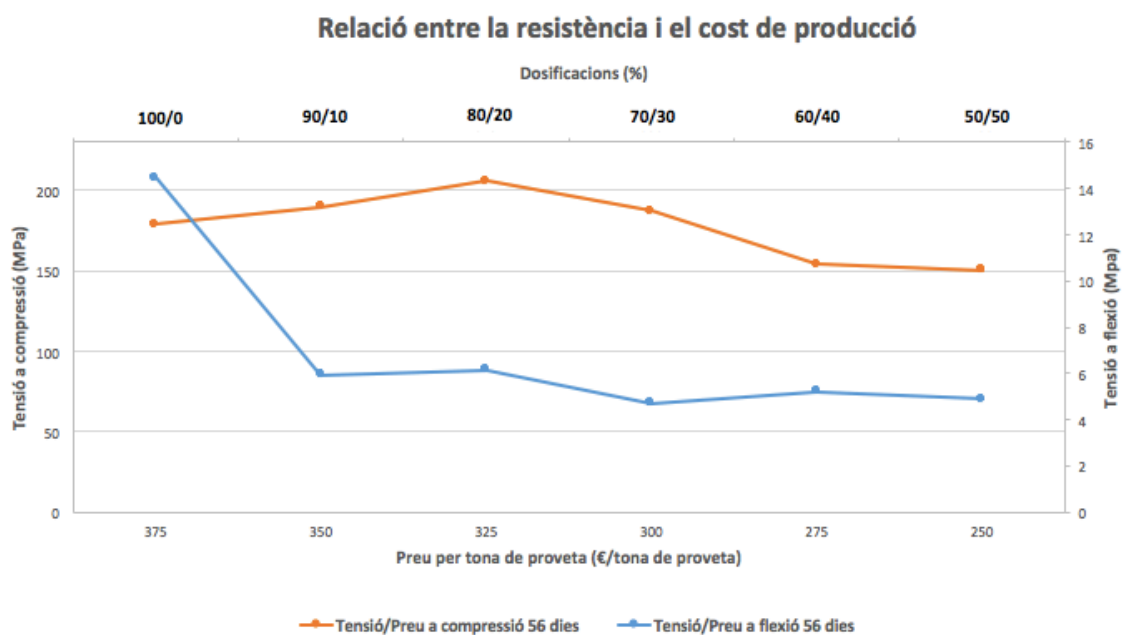


Figura 4-9 Relació entre la resistència i el cost de producció de cada tona de proveta assajada a flexió i compressió.

4.3. Resultats de l'assaig de durabilitat de les fibres de lli

Com s'ha descrit a l'apartat de material i mètodes per estudiar la durabilitat de les fibres de lli en les matrius de CAC i MK s'han dut a terme diferents tècniques.

4.3.1. Resultats de l'assaig de tracció

Les fibres de no teixit sotmeses a 5 i 10 cicles d'assecat-humitejat van ser assajades a tracció mitjançant el texturòmetre. El propi aparell d'anàlisi ens va proporcionar les dades de força en Newtons i el desplaçament en mil·límetres realitzat per a cada tireta de no teixit assajada.

Per tal d'obtenir els valors de tensió vàrem utilitzar la fórmula 4-5 mostrada a continuació:

$$\text{Tensió a tracció} = \frac{\text{Força (N)}}{\text{Pes de la mostra de no teixit assajada (g)}} = \frac{N}{g} \quad (4-5)$$

Les dades de tensió van ser representades en un gràfic en el qual es pot apreciar el punt de ruptura (MOR) de les mostres de no teixit. En aquests només es van incloure les mostres que la seva tensió màxima fos la més semblant a la mitjana de la seva sèrie, recordem que per a cada dosificació i cicle es van assajar 10 tiretes de no teixit. El procediment és el mateix que l'utilitzat en l'assaig de propietats mecàniques de les matrius.

Seguidament en la Figura 4-10 veiem representats els valors de la tensió en funció del desplaçament per a cada mostra de fibra sotmesa a 5 cicles d'assecat-humitejat:

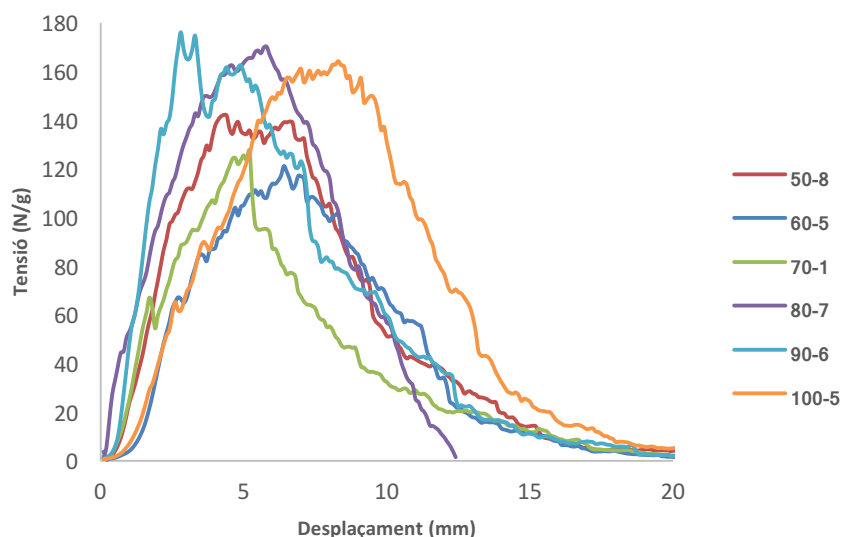


Figura 4-10 Assaig de tracció de les fibres sotmeses a 5 cicles per a totes les dosificacions.

En la Figura 4-10 podem veure com els valors de tensió de les fibres sotmeses a 5 cicles no varien gaire en funció de la dosificació en la que han estat submergides tot aquest temps.

Per poder comparar, en la següent Figura 4-11 veurem l'assaig de les fibres sotmeses a 10 cicles.

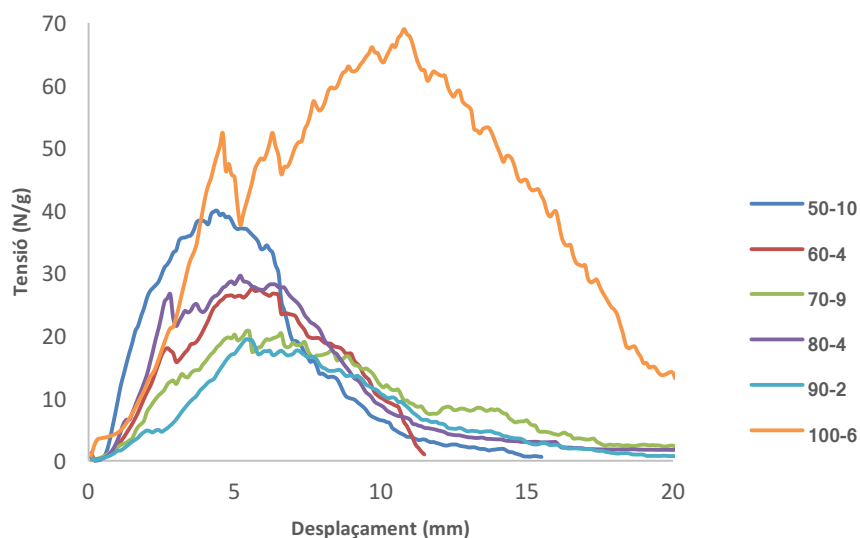


Figura 4-11 Assaig de tracció de les fibres sotmeses a 10 cicles per a totes les dosificacions.

En aquesta última gràfica observem que els valors són més baixos que en el cas anterior. La dosificació 100/0 segueix mantenint una tensió considerablement més elevada que la resta de dosificacions, tot i així segueix sent inferior que el de les fibres sotmeses únicament a 5 cicles.

Per poder veure millor les diferències entre les de 5 cicles i les de 10 en funció de la dosificació utilitzarem la Figura 4-12. En aquesta s'han representat els valors mitjans de la MOR de cada dosificació per a cada duració de tractament. Les barres d'error, realitzades a partir de la desviació estàndard, ens indicaran la dispersió dels resultats obtinguts sobre la mitjana de tota la sèrie assajada.

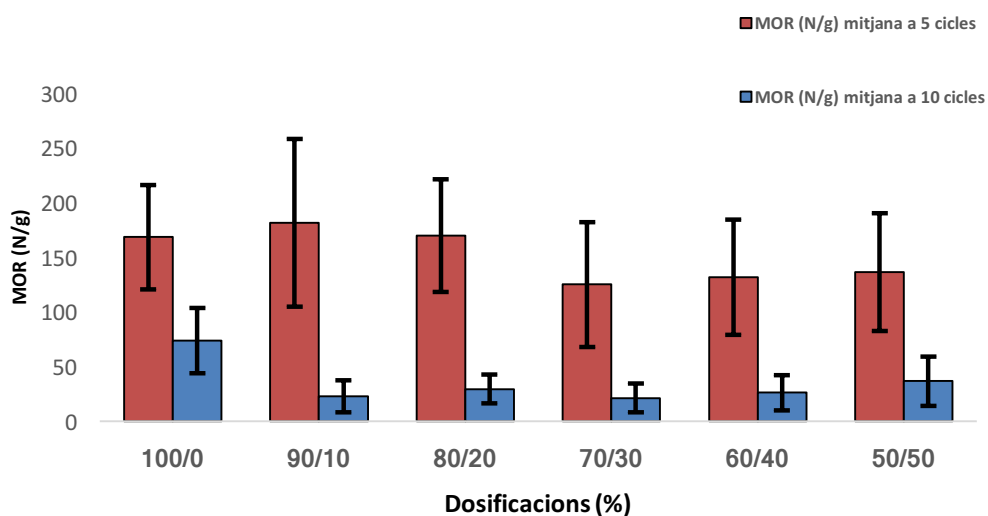


Figura 4-12 Punt de ruptura (MOR) mitjà per a cada dosificació i cicle d'assecat-humitejat de l'assaig a tracció.

Finalment en la Figura 4-12 es pot observar clarament com disminueix la tensió màxima a mesura que augmentem la durada del tractament d'assecat-humitejat. Per tant podem dir que les fibres de lli perden propietats mecàniques a mesura que es mullen i s'eixuguen. Cal destacar que aquests cicles d'assecat-humitejat són molt agressius i que no es donen de forma tant acusada de manera natural.

També veiem que els valors de tensió en funció de la dosificació en la que han estat en contacte les fibres no segueix un patró gaire clar. Podríem dir que els valors de tensió màxima tendeixen a disminuir a mesura que disminuïm el contingut de CAC i augmentem el de MK.

4.3.2. Resultats de l'anàlisi amb el microscopi electrònic

En vista dels resultats anteriors volem determinar que ha succeït en la fibra al estar en contacte amb el CAC i el MK. Hem visualitzat una mostra, de cada tireta de no teixit assajada anteriorment, mitjançant el microscopi electrònic. Gràcies a aquestes imatges podrem veure si s'han produït degradacions a les fibres de lli.

Al poder visualitzar com han quedat les mostres de no teixit després d'un contacte prolongat amb diferents dosificacions de ciment i material putzolànic ens farem una idea de quina interacció s'ha produït durant aquest contacte. Hem analitzat les següents mostres:

- No teixit sotmès a 5 cicles d'assecat-humitejat i a la presència de CAC i MK.
- No teixit sotmès a 10 cicles d'assecat-humitejat i a la presència de CAC i MK.
- No teixit sotmès exclusivament a cicles d'assecat-humitejat.
- No teixit sense cap tractament (grup control)

En aquest estudi només s'han afegit una sèrie d'imatges, les que hem considerat més representatives per poder realitzar l'anàlisi.

A continuació a les Figura 4-14, 4-15, 4-16 i 4-17 es mostren unes fotografies fetes amb el microscopi electrònic que corresponen a les mostres esmentades anteriorment:

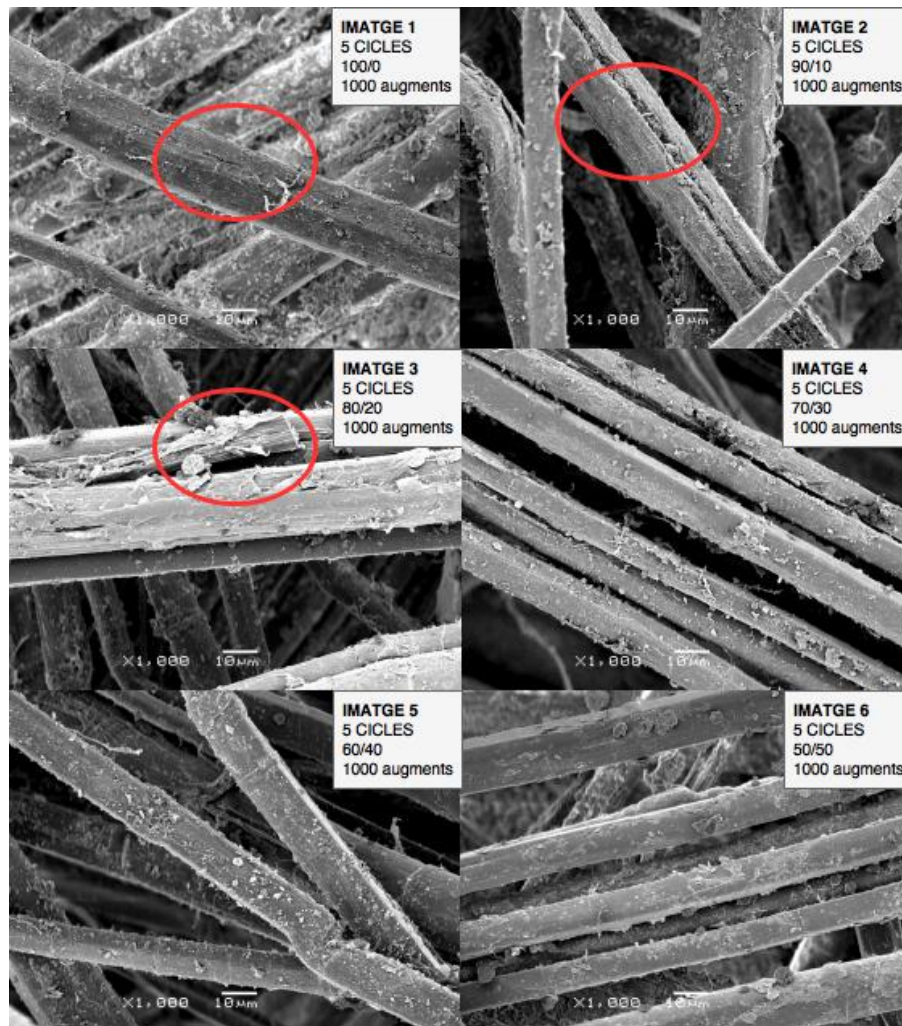


Figura 4-13 Imatges procedents del microscopi electrònic de les mostres sotmeses a 5 cicles.

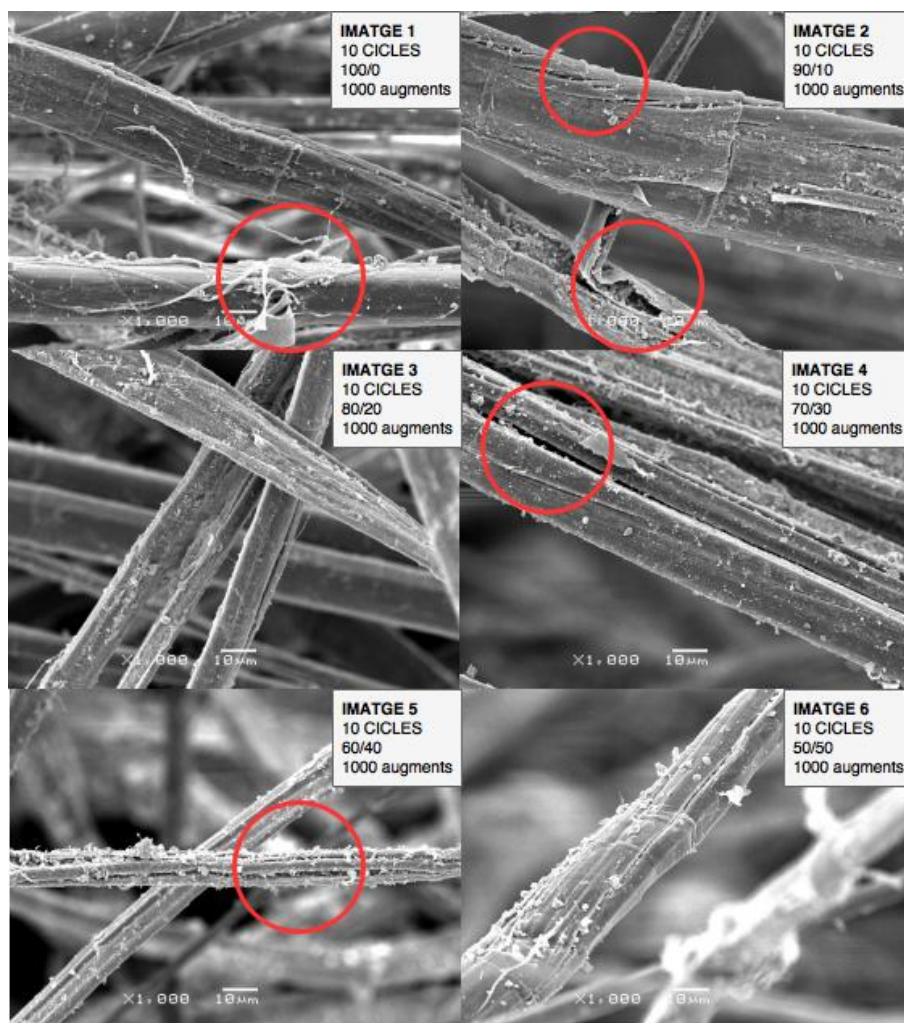


Figura 4-14 Imatges procedents del microscopi electrònic de les mostres sotmeses a 10 cicles.

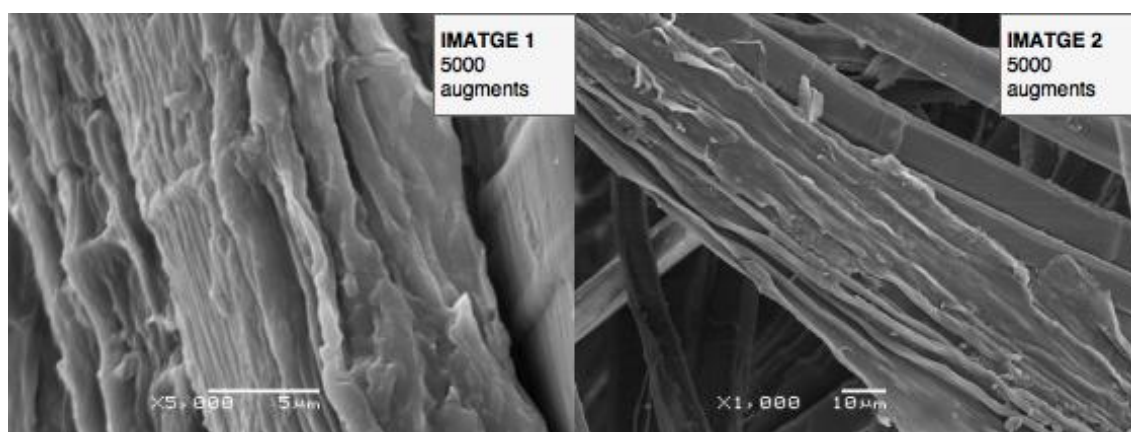


Figura 4-15 Imatges del microscopi electrònic de les fibres sotmeses únicament a cicles d'assecat-humitejat.

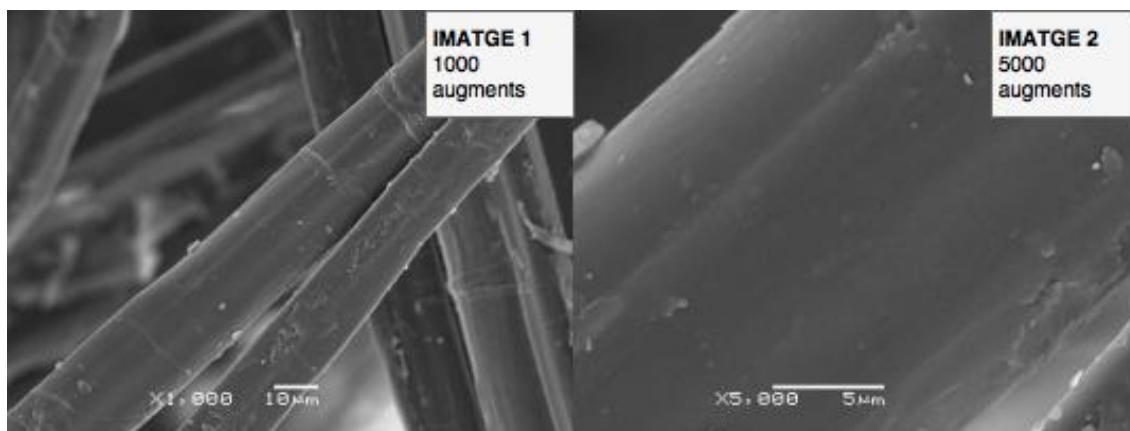


Figura 4-16 Imatges del microscopi electrònic del grup control.

Després de visualitzar detingudament totes aquestes imatges podem veure com els cicles d'assecat-humitejat provoquen estries a la fibra degudes al canvi de volum d'aquestes. En la Figura 4-17 les superfícies de la fibra són completament llises, en canvi en la Figura 4-16 s'aprecia clarament aquestes estries.

Per un altre banda observem com augmenten les degradacions a les fibres a mesura que augmenta el contingut de CAC de la dosificació. Es pot apreciar com en algunes de les imatges es comencen a separar les capes de la fibra i algunes presenten petits orificis que afecten a les propietats mecàniques del no teixit.

Si analitzem les diferències entre la Figura 4-14 i 4-15 veurem com en la primera les degradacions es presenten en forma de petits orificis o estries més profundes. D'altre banda en la Figura 4-15 on les mostres han estat sotmeses a més cicles d'assecat-humitejat veiem un clar augment de les degradacions ja que s'han sumat a les estries provocades per els cicles d'assecat-humitejat. En algunes de les imatges es fa patent la manca de capes de la fibra. Si prolonguéssim més cicles l'assaig acabaríem per trencar algunes de les fibres amb un diàmetre més petit, les més grans suporten millor aquestes condicions.

De totes maneres cal destacar que les anomalies detectades a les fibres tampoc són molt grans. Deu cicles d'assecat-humitejat representen una agressió molt potent sobre el no teixit, per poder

veure com és el seu comportament real hem assajat les fibres a l'extrem. En una situació real els canvis d'humit i temperatura del medi no són tant acusats.

Conclusions

Propietats mecàniques de les matrius	
1	Les resistències a flexió de les matrius compostes per ciment aluminós i metacaolín disminueixen, tenint en compte les dispersions, a mesura que augmentem el temps de maduració i el contingut de material putzolànic.
2	Les resistències a compressió de les matrius compostes per ciment aluminós i metacaolín augmenten poc, tenint en compte les dispersions, a mesura que incrementem el temps de maduració. També arriben a disminuir en el cas de tenir un contingut molt alt de material putzolànic.
3	La millor combinació entre la resistència i el cost de producció, en el cas de necessitar una matriu que suporti grans forces a flexió, és la 100/0. En canvi si la matriu ha de aguantar majoritàriament forces de compressió triarem la dosificació 80/20.
Durabilitat de les fibres de lli en matrius de ciment aluminós	
1	Les fibres de lli experimenten una disminució de les seves propietats mecàniques al estar en contacte amb una dosificació rica en material putzolànic. S'ha comprovat que existeix un cert grau de degradació de les fibres, fet que comporta un declivi de les propietats esmentades anteriorment.
2	Els canvis d'humitat afecten de forma clara a les fibres de lli, disminuint el seu volum i creant estries a la seva superfície.
Conclusió final	
En termes generals, la durabilitat de les fibres vegetals de lli es veu afectada per la presència de matrius d'aluminat de calç i material putzolànic. L'efecte del Pòrtland sobre les fibres és molt més gran que en el cas del CAC. Per tant, tot i mancar més estudis sobre el comportament de les fibres vegetals i del ciment aluminós, podem estar en front de l'inici d'una solució a la problemàtica sobre la durabilitat de les fibres vegetals en matrius de ciment.	

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

AENOR (2005) *Norma Europea UNE-EN 196-1:2005*.

AENOR (2006) 'UNE-EN 14647:2006. Cemento de aluminato de calcio. Composición, especificaciones y criterios de conformidad.'

Ardanuy, M., Claramunt, J., García-Hortal, J. and Barra, M. (2011) 'Fiber-matrix interactions in cement mortar composites reinforced with cellulosic fibers', *Cellulose*, 18(2), pp. 281–289. doi: 10.1007/s10570-011-9493-3.

Ardanuy, M., Claramunt, J. and Toledo Filho, R. D. (2015) 'Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research', *Construction and Building Materials*, 79, pp. 115–128. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.01.035.

Ardanuy, M., Claramunt, J., Filho, R. and García-Hortal, J. (2011) 'The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites', *Cement and Concrete Composites*. Elsevier Ltd, 33(5), pp. 586–595. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2011.03.003.

Claramunt, J. (2016) 'Natural fiber nonwoven reinforced cement composites as sustainable materials for building envelopes', *Construction and Building Materials*, 115, pp. 230–239.

Cobrerros, C. and Avellaneda, J. (2015) *Uso de fibras vegetales procedentes de explotaciones agrícolas en la edificación sostenible*. Universidad Politécnica de Cataluña.

Gomez-Romero, P. (2001) 'Hybrid Organic–Inorganic Materials—In Search of Synergic Activity', *Advanced Materials*, 13(3), pp. 163–174. doi: 10.1002/1521-4095(200102)13:3<163::AID-ADMA163>3.0.CO;2-U.

Guti, A., Martínez, T., Nieto, L., Rencoret, J. and Río, C. (2011) 'Structural Characterization of Guaiacyl-rich Lignins in Flax (*Linum usitatissimum*) Fibers and Shives', *Journal of agricultural and food chemistry*, 59, pp. 11088–11099.

Delvasto, S., Mejía de Gutierrez, R., Silva, J. and Torres, J. (2006) 'Influencia de la adición de metacaolín a morteros y hormigones', *Boletín Geológico y Minero*, 117(4), pp. 715–722.

Ministerio de Fomento (2011) *Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08*. España.

Prehistóricos, M. (1991) 'Historia de los morteros', (1975), pp. 52–59.

Puig, J. and Molins, C. (2000) 'Cemento de aluminato de calcio: Origen, Producción y Aplicaciones', *Cementos Molins Industrial S.A*, p. 15.

RC-03 (2003) 'Instrucción para la Recepción de Cementos', *Ministerio de Fomento*.

De Aza, A. H., Pena, P., Rivas Mercury, J. M., Turrillas, X. (2003) 'Hidratación de los cementos de aluminatos de calcio. Parte II: Efecto de las adiciones de sílice y alumina', *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 42(6), pp. 361–368. doi: 10.3989/cyv.082012.

Sanchez, P. and Cementos Molins (1973) 'El cemento aluminoso', *Materiales de Construcción*, 23(150–151).



Annexos

Annex A.	Fitxes tècniques dels materials usats	65
----------	---------------------------------------	----

Annex A. Fitxes tècniques dels materials usats

Metacaolín Peser de ARCIRESA



METACAOLÍN PESER®



1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El metacaolín Peser® es un producto con elevadas propiedades puzolánicas obtenido mediante activación térmica de caolines (calcinación a temperatura controlada en horno rotativo) y posterior micronización o molienda ultrafina del producto obtenido.

El metacaolín Peser® es un silicato de aluminio deshidratado, de composición general $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, de estructura amorfa, no cristalina, constituido por partículas laminares de elevada finura.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

El metacaolín Peser® se utiliza principalmente como aditivo puzolánico de morteros y hormigones basados en cementos Portland o cal.

El metacaolín Peser® se combina químicamente con el hidróxido de calcio del proceso de hidratación del cemento para formar silicatos, silicoaluminatos y aluminatos de calcio hidratados adicionales, los cuales se depositan en los espacios existentes en el cemento, originando la densificación de la matriz (menor porosidad) y contribuyendo al incremento de la resistencia, la reducción de la permeabilidad y de la reactividad álcali-sílice, al control de la eflorescencia, al aumento de resistencia al ataque químico y al ciclo hielo/deshielo, mejorando así la durabilidad del hormigón.

El color blanco del metacaolín Peser® fabricado por ARCIRESA posibilita su empleo en infraestructuras y aplicaciones arquitectónicas especiales e incluso en la producción de cemento blanco adicionado.

Dosificación habitual: sustitución del 5 – 15 % del peso total de cemento por metacaolín.

3. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y GRANULOMÉTRICAS

Propiedades físicas*

Aspecto/Color.....	Polvo blanco
Pérdida por calcinación.....	< 1,50
Puzolanidad (Ensayo Chapelle).....	988 g $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{g}$
Superficie específica (Blaine).....	10.971 cm^2/g
Demanda de agua.....	106,2 %
Índice actividad resistente 28 días.....	111,6 %
Densidad aparente:	
– Aireada.....	600 kg/m^3
– Compactada.....	800 kg/m^3
Peso específico.....	2,54 g/cm^3



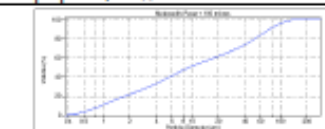
Análisis químico

% Al_2O_3	40,24
% SiO_2	54,61
% Fe_2O_3	0,25
% TiO_2	1,08
% CaO	< 0,10
% MgO	< 0,10
% Na_2O	0,02
% K_2O	1,44

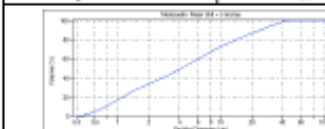
*Valores correspondientes al material con $d_{50} = 5 \mu\text{m}$.

Distribuciones granulométricas

Impalpable, 100% de material < 100 micras



Ultrafino, diámetro medio partícula $d_{50} = 5 \mu\text{m}$



4. PRESENTACIÓN Y SUMINISTRO

El metacaolín Peser® de ARCIRESA se suministra en los siguientes formatos:

- Big – bags de 500 kg y de 1.000 kg.
- Sacos de papel, de 20 kg, en pallets de 5 sacos en 10 alturas con un peso de 1.000 kg.

Arcillas Refractarias, S. A. (ARCIRESA)
Barrio Castiello, s/n
33690 Lugo de Llanera (Asturias) – España
☎ 985 770 129 ☎ 985 772 327
✉ arcsales@arcsa.es
www.arcsa.es

Revisión: 4

Fecha de la revisión: 12/01/2012

Sika Viscorete 3425

Construcción

Hoja de Datos de Producto
 Edición 01/10/2012
 Identificación n.º 1.1.5
 Versión n.º 1
 Sika® ViscoCrete®-3425

CE

1.1.5

Sika® ViscoCrete®-3425

Superplastificante de alto rendimiento

Descripción del Producto	Sika® ViscoCrete®-3425 es un superplastificante de altas prestaciones para hormigones.
Usos	<p>Sika® ViscoCrete®-3425 se utiliza para la confección de hormigones con gran necesidad de reducción de agua y de excelente fluidez.</p> <p>Sika® ViscoCrete®-3425 se utiliza principalmente para las siguientes aplicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Hormigón prefabricado. ■ Hormigón autocompactante.
Características/Ventajas	<p>Sika® ViscoCrete®-3425 es un poderoso superplastificante que combina diferentes mecanismos de actuación.</p> <p>Debido a la adsorción superficial y al efecto estérico, que separan las partículas de cemento, se consiguen las siguientes propiedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Reducción muy importante de agua de amasado dando hormigones de alta densidad, altas resistencias y gran impermeabilidad. ■ Excelente plasticidad, mejorando la fluidez, la colocación y la compactación. ■ Bajo coste de energía en elementos prefabricados curados al vapor. ■ Especialmente indicado para la preparación de hormigón autocompactante. ■ Disminuye la retracción. <p>No contiene cloruros ni sustancias que puedan provocar o favorecer la corrosión del acero y por lo tanto pueden utilizarse sin restricciones en hormigones armados o pretensados.</p>
Ensayos	
Certificados/Normas	Cumple las especificaciones de la norma UNE-EN 934-2. Tablas 3.1 y 3.2: superplastificante / reductor de agua.

Datos del Producto

Forma	
Apariencia/Color	Líquido incoloro
Presentación	Contenedores de m³ y bajo pedido puede suministrarse a granel
Almacenamiento	
Condiciones de Almacenamiento/Conservación	12 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados entre +5°C y +35°C. Proteger de la acción directa de la luz solar y de las heladas.
Datos Técnicos	
Composición química	Policarboxilato modificado en base acuosa
Densidad	1,05 kg/l ± 0,01
Valor de pH	4 ± 1.

25
Sika® ViscoCrete®-3425
1/2

Construcción

Contenido en Cloruros	Exento de cloruros	(EN 934-2)
Efecto del fraguado	No retardante	
Efecto de sobredosificación	Puede producir exudación	
Informacion del Sistema		
Detalles de Aplicación		
Consumo/Dosificación	Dosificación recomendada: Para media trabajabilidad: 0,2-0,8% del peso del cemento Para una alta trabajabilidad, con baja relación agua/cemento y para hormigón autocompactante: 1,0-1,7 % del peso del cemento.	
Condiciones de Aplicación/Limitaciones		
Compatibilidad	Sika® ViscoCrete®-3425 se puede combinar con otros aditivos de la gama Sika. Se recomienda hacer ensayos antes de combinar los productos.	
Instrucciones de Aplicación		
Incorporación al hormigón	Sika® ViscoCrete®-3425 se añadirá al agua de amasado o a la mezcla de hormigón durante el proceso de mezclado.	
Método de aplicación/ Herramientas	Se deben seguir las reglas de buena práctica del hormigonado en cuanto a producción y colocación. El hormigón debe curarse adecuadamente.	
Notas de aplicación/ Limitaciones	Hormigón autocompactante (HAC): Para la realización de hormigones autocompactantes con Sika® ViscoCrete®-3425 se deben hacer diseños del hormigón específicos Heladas: Si Sika® ViscoCrete®-3425 se helase, puede utilizarse sin que se vea disminuida ninguna de sus propiedades después de deshacerse lentamente a temperatura ambiente y agitado cuidadosamente.	
Notas	Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.	
Instrucciones de Seguridad e Higiene	Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.	
Notas Legales	Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno otorgado, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos de propiedad de terceros partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página www.sika.es .	



DIRECCIONES GENERALES Y FABRICA

Madrid 28108 - Alcobendas
 P.I. Alcobendas
 Carretera de Fuencarral, 72
 Tels.: 916 57 23 75
 Fax: 916 62 19 38

DIRECCIONES GENERALES Y CENTROS LOGÍSTICOS

Madrid 28108 - Alcobendas
 P.I. Alcobendas
 C/ Aragoneses, 17
 Tels.: 916 57 23 75
 Fax: 916 62 19 38



Sika® ViscoCrete®-3425



RESPONSIBLE CARE
 El compromiso de la mejor química
 con el desarrollo sostenible

2/2

Sika Desencofrante LN

Construcción

Hoja de Datos de Producto
 Edición 06/10/2008
 Identificación n.º 1.10.4
 Versión n.º 1
 Sika® Desencofrante LN

1.10.4

Sika® Desencofrante LN

Aceite de desencofrado para todo tipo de encofrados,
principalmente metálicos

Descripción del Producto	Agente desencofrante que evita la adherencia del hormigón o del mortero a los encofrados
Usos	Se utiliza para todo tipo de encofrados, principalmente metálicos, cuando se desea obtener una superficie de acabado impecable.
Características/Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ■ El hormigón no se ensucia y se puede aplicar rápida y limpiamente. ■ Permite un ahorro de tiempo y de mano de obra en la limpieza de los encofrados. ■ Disminuye el desgaste de la madera. ■ Resulta económico, debido a su gran rendimiento y fácil manejo. ■ Se prolonga la duración de utilización de los encofrados

Datos del Producto

Forma	
Apariencia/Color	Líquido amarillento
Presentación	Garrafa de 25 l y bidones de 200 l. Bajo pedido puede suministrarse en contenedores de m³.

Almacenamiento

Condiciones de almacenamiento/Conservación	24 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar seco y fresco protegiéndolos de las heladas y el frío excesivo, a una temperatura entre +5°C y +30°C
---	---

Datos Técnicos

Composición química	Aceite mineral
Densidad (20°C)	Aprox. 0,9 kg/l

Información del Sistema

Detalles de Aplicación	
Consumo/Dosificación	Dependiendo de la naturaleza del soporte, aprox. 1 l de producto para 10-20 m².
Instrucciones de Aplicación	Se aplica sobre encofrados limpios y secos utilizando brochas. Se suministra listo para su empleo

121
Sika® Desencofrante LN
1/2

Construcción

Notas de aplicación/ Limitaciones	<p>Puede ser aplicado varios días antes de la confección del encofrado o inmediatamente antes del hormigonado, ya que su eficacia perdura y por otra parte no hay que respetar ningún plazo de espera antes de echar el hormigón.</p> <p>En el caso de que un hormigón cuyo encofrado haya sido tratado con Sika® Desencofrante LN vaya a ser enfoscado o pintado posteriormente, se impone un lavado vigoroso de su superficie mediante cepillos de raices y agua, en cuanto se haya desencofrado.</p> <p>Para cualquier aclaración rogamos consulten con nuestro Departamento Técnico.</p> <p>Se recomienda homogeneizar el producto previamente a su uso.</p>
Notas	Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.
Instrucciones de Seguridad e Higiene	Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.
Notas Legales	Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos de propiedad de terceros partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página www.sika.es .



CONDICIONES GENERALES Y FABRICA

Madrid 28108 - Alcobendas
P. I. Alcobendas
Carretera de Fuencarral, 72
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38

CONDICIONES GENERALES Y CENTRO LOGÍSTICO

Madrid 28108 - Alcobendas
P. I. Alcobendas
C/ Aragonenses, 17
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38



Ciment d'aluminat de calci ELECTROLAND de Ciments Molins Industrial



EN 14647 CAC

DESCRIPCIÓN:

Por sí solo, **Electroland** ya aporta endurecimiento rápido a las pocas horas y elevadas resistencias a la abrasión, incluso al choque mecánico. El importante calor de hidratación liberado durante las primeras horas convierte a **Electroland** en un cemento recomendado en climas muy fríos. **Electroland** no libera hidróxido de calcio durante su hidratación y, por consiguiente, tiene excelente resistencia a los ataques químicos y bacteriológicos, incluso cuando ambos actúan a la vez. **Electroland** es un ligante hidráulico con versátiles propiedades utilizados en la química construcción. Por ejemplo, en combinación apropiada con cemento Portland se obtiene un fraguado y endurecimiento extremadamente rápido. En mezclas ternarias, **Electroland**-Portland-sulfato de calcio se regula a voluntad la rapidez del tiempo de secado y el control dimensional tanto por retracción como por expansión. **Electroland** también es un cemento altamente refractario (1.300°C).

CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO:

Clinker: 100 %					
Valor habitual	Especificación	Valor habitual	Especificación	Valor habitual	Especificación
Al ₂ O ₃ 41,5%	25%≤Al ₂ O ₃ ≤55%	FeO 1,9%	-	SP 0,02%	≤0,10%
CaO 38,1%	-	SiO ₂ 3,7%	-	SO ₃ 0,01%	≤0,5%
Fe ₂ O ₃ 0,2%	-	Cl- 0,01%	≤0,10%	Alcalis 0,14%	≤0,4%
Valor habitual	Especificación	Valor habitual	Especificación		
Resistencia compresión 6h(MPa): 55	≥10,0	Resistencia compresión 24h(MPa): 75	≥40,0		
Tiempo inicio fraguado (min): 200	≥90	Tiempo fin fraguado (min): 220	≤720		
Superficie específica Blaine (cm ² /g): 3200					
Características adicionales:					
Componente mineralógico mayoritario: CaAl ₂ O ₄			Cono Segar: 9 (325°C)		
Componentes mineralógicos secundarios: Ca ₂ FeAl ₂ O ₆ , Ca ₂ Al ₂ O ₃ , β-Ca ₂ SiO ₄ , Ca ₂ TiFe ₂ O ₆ , FeO					
Granulometría laser D (x 0,9/μm) inferior a 70 micras					
Densidad aparente (g/cm ³): 1,1			Peso específico (g/cm ³): 3,2		

AENOR certifica el cumplimiento de este cemento con las especificaciones de la norma UNE-EN 14647, evaluándose según lo establecido en el Reglamento Particular RP 15.01 (marca N). Por lo tanto, dispone también del correspondiente certificado CE. Este cemento no necesita la adición de un agente reductor del crómico (v/r). AENOR certifica también el cumplimiento del límite reglamentario del contenido en Cr (v/r) soluble en agua según la norma UNE-EN 196-10.

